



TUGAS AKHIR - TM095502 (KE)

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN
PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN
KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR, PLAT
BERGELOMBANG SETENGAH LINGKARAN DAN
PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA**

**GILANG ARMADA HARIYONO SAPUTRA
NRP. 2113 030 065**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM095502 (KE)

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN
PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN
KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR, PLAT
BERGELOMBANG SETENGAH LINGKARAN DAN
PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA**

**GILANG ARMADA HARIYONO SAPUTRA
NRP. 2113 030 065**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM095502 (KE)

**EXPERIMENTAL COMPARATIVE STUDY OF
SOLAR WATER HEATING WITH FLAT PLATE,
CORRUGATED HALF CIRCLE PLATE AND
CORRUGATED TRIANGLE PLATE OF SOLAR
COLLECTOR**

**GILANG ARMADA HARIYONO SAPUTRA
NRP. 2113 030 065**

**Consellor Lecture :
Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DIPLOMA 3 PROGRAM MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN
PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN
KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR, PLAT
BERGELOMBANG SETENGAH LINGKARAN DAN
PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

GILANG ARMADA HARIYONO SAPUTRA
NRP. 2113 030 065

Mengetahui dan Menyetujui :
Dosen Pembimbing



Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.
NIP. 19610602 198701 1 001

SURABAYA
FEBRUARI 2017

STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PEMANAS AIR TENAGA SURYA DENGAN KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR, PLAT BERGELOMBANG SETENGAH LINGKARAN DAN PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA

Nama Mahasiswa : Gilang Armada Hariyono Saputra
NRP : 2113 030 065
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.

Abstrak

Radiasi merupakan proses perpindahan panas dari benda ke benda lain tanpa media perantara. Panas matahari yang sampai ke bumi merupakan salah satu contoh perpindahan panas radiasi.

Pemanas air dengan kolektor surya adalah alat sederhana yang digunakan untuk memanaskan air dengan memanfaatkan energi panas matahari. Kolektor surya berfungsi sebagai pemantul radiasi matahari. Besar-kecilnya radiasi pantulan yang diterima oleh pipa dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor bentuk profil permukaan kolektor tersebut. Faktor bentuk mempengaruhi arah radiasi pantulan.

Dalam percobaan digunakan tiga jenis plat kolektor surya, yaitu : plat datar, plat bergelombang setengah lingkaran dan plat bergelombang segitiga. Nilai *heat gain* yang didapat plat datar 33646.513 J/s, plat bergelombang lingkaran 29315.803 J/s dan plat bergelombang segitiga 44781.594 J/s. Nilai *heat gain* terbesar didapatkan dengan percobaan menggunakan jenis plat bergelombang segitiga. Hal ini disebabkan karena radiasi matahari yang jatuh ke permukaan kolektor surya dengan profil bidang permukaan bergelombang segitiga, akan dipantulkan secara berulang sehingga pantulan ke lingkungan lebih sedikit dan pipa besi bisa menyerap panas lebih banyak.

Kata kunci : Energi panas, *heat gain*, matahari, radiasi, surya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EXPERIMENTAL COMPARATIVE STUDY OF SOLAR WATER HEATING WITH FLAT PLATE, CORRUGATED HALF CIRCLE PLATE AND CORRUGATED TRIANGLE PLATE OF SOLAR COLLECTOR

Student Name : Gilang Armada Hariyono Saputra
NRP : 2113 030 065
Department : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Final Project Adviser : Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.

Abstract

Radiation is the process of heat transfer from the object to another object without media intermediaries. Heat from the sun that reaches the earth is one example of radiation heat transfer.

Water heater with a solar collector is a simple tool that is used to heat water by utilizing solar thermal energy. Solar collectors serve as reflectors of solar radiation. The amount of radiation received by the reflection that the pipeline is influenced by several factors, one of which is the form factor of the collector surface profile. The form factor influencing the direction of radiation reflection.

In the experiment used three types of plate solar collectors, namely: a flat plate, corrugated half circle plate and corrugated triangle plate. Value heat gain obtained flat plate 33646.513 J/s, corrugated half circle plate 29315.803 J/s and corrugated triangle plate 44781.594 J/s. The heat gain value obtained by experiments using corrugated triangle plate. This is because solar radiation falling onto the surface of a solar collector with a triangular profile bumpy surfaces, will be reflected in the air so that the reflection to fewer environmental and iron pipes can absorb more heat.

Keywords: Heat transfer, radiation, Solar, thermal energy.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai perpindahan panas yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.** selaku Ketua Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. **Bapak Ir. Denny ME Soedjono, M.T.** selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
4. **Tim Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. **Ayah, Ibu,** yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moril maupun materil. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
6. **Kedua adik** yang selalu menjadi motivasi penulis untuk terus menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di D3 Teknik Mesin ITS, serta banyak memfasilitasi penulis dalam poses pengerjaan tugas akhir.
8. **Renaldo Maxilion dan Ikki Adji** untuk ilmu yang ditularkan serta referensi yang sangat membantu penulis.
9. **Sapto Wisasno** yang telah memberikan ide-ide dan membantu penulis dalam praktikum percobaan.

10. **Jessa, Angga dan Septyan** atas kebersamaan yang selalu dijaga bersama, sehingga penulis lebih semangat dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. **M. Yusuf Anggianto** yang telah memberikan banyak sekali motivasi serta dorongan semangat untuk selalu fokus dalam mengerjakan tugas akhir ini.
12. **Imam, Luhung dan Tito** yang telah membantu penulis dalam proses pembuatan buku tugas akhir ini.
13. **Seluruh teman-teman angkatan 2013** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
14. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, 04 Februari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penulisan	2
1.5. Manfaat Penulisan	2
1.6. Sistematika Penulisan	3

BAB II

DASAR TEORI	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.1.1. Penelitian Hollands (1965).....	5
2.1.2. Penelitian Robert L. San Martin dan Gary J. Fjeld (1975).....	6
2.1.3. Penelitian Meyer et al dan Randall et al (1978)	6
2.1.4. Penelitian Wang Shing An (1979)	6
2.1.5. Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan (1986)	7
2.1.6. Penelitian Renaldo Dan Adji (2015)	9
2.1.7. Penelitian Gilang (2016)	10
2.2. Asas Black.....	10
2.3. Perpindahan Panas Konveksi.....	10
2.4. Perpindahan Panas Konduksi	11
2.5. Perpindahan Panas Radiasi	12
2.6. Radiasi Matahari	14

2.6.1. Konstanta Matahari	14
2.6.2. Geometri Radiasi Surya	15
2.7. Radiasi Luar Angkasa pada Permukaan Horizontal	18
2.8. Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse ..	19
2.8.1. Intensitas Matahari Langsung (I_b)	19
2.8.2. Intensitas Matahari Difuse (I_d)	20
2.9. Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap	20
2.10. Kolektor Surya Plat Bergelombang	21
2.10.1. Bagian utama Kolektor Surya Plat Datar	22
2.10.2. Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Plat Datar dan Bergelombang	22
2.11. <i>Heat Gain</i> dan <i>heat loss</i>	23
2.12. Isolator Panas	25
2.13. Alat Ukur Temperatur.	27
2.13.1. <i>Thermometer Infrared</i>	27
2.13.2. Termokopel	29

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN	31
3.1. Persiapan Awal	31
3.2. Langkah Penyusunan Tugas Akhir	31
3.3. Instalasi Heat Exchanger Yang Telah Ada	32
3.4. Dimensi dari jenis plat yang akan digunakan	33
3.5. Parameter yang di ukur	35
3.6. Alat ukur yang digunakan	35
3.7. Tahap-Tahap pengujian	36
3.7.1. Alat dan Bahan	36
3.7.2. Persiapan Awal	36
3.7.3. Prosedur Pengujian Heat Gain	36
3.7.4. Pengujian Heat Loss	36
3.7.5. Perhitungan data	37
3.8. Diagram Alir Tugas Akhir	37
3.9. Diagram Alir Perhitungan Heat Gain dan Heat Loss	38

BAB IV

ANALISIS PERHITUNGAN	41
4.1. Perhitungan Kapasitas.....	41
4.2. Data Temperatur	41
4.3. Analisis Data Temperatur.....	44
4.4. Perhitungan Massa Jenis.....	45
4.5. Laju Aliran Massa	47
4.6. <i>Overall Heat Gain</i>	48
4.7. Validasi Heat Gain	50
4.7.1. Perhitungan Panjang Pipa (l_p)	50
4.7.2. Analisa Intensitas Radiasi Matahari	50
4.7.3. Analisa Sudut Jam Matahari	51
4.7.4. Analisa Sudut Datang Cahaya Matahari	51
4.7.5. Sudut Datang Bidang Horizontal	52
4.7.6. Radiasi Matahari Extraterrestrial Bidang Horizontal.....	52
4.7.7. Intensitas Matahari Langsung dan Intensitas Matahari Difuse	53
4.7.8. Intensitas Matahari Langsung (I_b)	54
4.7.9. Intensitas Matahari Diffuse (I_d).....	54
4.7.10. Intensitas Matahari Total yang Diterima oleh Permukaan Bumi (I_T)	54
4.7.11. Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima oleh Plat Absorber Kolektor (S)	55
4.7.12. Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Kaca ke Udara	56
4.7.13. Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Plat ke Kaca.....	56
4.7.14. Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total pada Kolektor Surya.....	57
4.7.15. Perhitungan Heat Gain Secara Teoritis	57
4.8 Heat Loss.....	58

BAB V

PENUTUP	63
5.1. Kesimpulan.....	63

5.2. Saran	64
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA
BIODATA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses Pemantulan Berulang pada Plat Bergelombang.....	5
Gambar 2.2.	<i>Tricker Collector</i>	6
Gambar 2.3.	<i>Tube and Sheet Collector</i>	7
Gambar 2.4.	<i>Corrugated Sheet Collector</i>	7
Gambar 2.5.	Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari .	8
Gambar 2.6.	Variasi Besaran Radiasi Yang Diserap.....	9
Gambar 2.7.	Model instalasi pemanas air tenaga surya sederhana	9
Gambar 2.8.	Distribusi kecepatan dan temperatur.	11
Gambar 2.9.	Metode perpindahan panas.....	12
Gambar 2.10.	Laju perpindahan panas radiasi.	13
Gambar 2.11.	Hubungan ruang Matahari – Bumi	15
Gambar 2.12.	Sudut-sudut Matahari dengan Permukaan Bumi	17
Gambar 2.13.	Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara ...	18
Gambar 2.14.	<i>Control Volume</i> Instalasi.....	23
Gambar 2.15.	Pipa yang tidak terisolasi	24
Gambar 2.16.	Celah pada pipa masuk dan keluar	24
Gambar 2.17.	<i>Heat loss</i> pada wadah penampung air	25
Gambar 2.18.	<i>Glasswool</i> Sebagai Isolator Panas	26
Gambar 2.19.	<i>Infrared Thermometer</i>	27
Gambar 2.20.	Termokopel.....	29
Gambar 2.21.	Cara Kerja Termokopel.....	30
Gambar 3.1.	Instalasi <i>heat exchanger</i>	32
Gambar 3.2.	Gambar teknik dari instalasi <i>heat exchanger</i> ...	33
Gambar 3.3	Dimensi plat datar	34
Gambar 3.4	Dimensi plat bergelombang segitiga	34
Gambar 4.1.	Grafik <i>heat gain</i> – jenis plat.....	49
Gambar 4.2.	Grafik <i>heat loss</i> – jenis plat.....	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Temperatur air pada jenis plat bergelombang setengah lingkaran percobaan ke-1.....	41
Tabel 4.2. Temperatur air pada jenis plat bergelombang setengah lingkaran percobaan ke-2.....	42
Tabel 4.3. Temperatur air pada jenis plat datar percobaan ke-1.....	42
Tabel 4.4. Temperatur air pada jenis plat datar percobaan ke-2.....	43
Tabel 4.5. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga percobaan ke-1.	43
Tabel 4.6. Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga percobaan ke-2.	44
Tabel 4.7. Δt ($^{\circ}\text{C}$) tiap jenis plat.	45
Tabel 4.8. Perhitungan heat gain.	49
Tabel 4.9. Data percobaan <i>heat loss</i>	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin menipisnya cadangan energi fosil di Indonesia dan kenyataan bahwa pemakaian energi berbahan dasar dari fosil telah menjadi salah satu penyebab terjadinya kelangkaan energi, maka sudah saatnya untuk menggalakkan pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan yang dimiliki. Indonesia memiliki potensi dan cadangan energi terbarukan yang besar, seperti tenaga matahari, panas bumi, dan air, termasuk lautan.

Pemanfaatan energi matahari dirasa sangat cocok diterapkan di Indonesia. Berdasarkan penghitungan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) diperkirakan besar radiasi yang menyinari Indonesia khususnya daerah timur rata-rata sebesar 5,1 kWh/m² dalam sehari. Semenjak itu Indonesia mulai menaruh perhatian akan sumber energi yang satu ini. Salah satu bentuk pemanfaatan energi matahari ini adalah dengan pembuatan alat pemanas air tenaga surya. Alat pemanas tenaga surya yang akan dibuat ini dirancang se-sederhana mungkin sehingga diharapkan bisa diterapkan di semua lapisan masyarakat di Indonesia.

Faktanya energi yang didapat, berbeda jika dibandingkan dengan penghitungan secara teoritis. Selain itu terdapat faktor lain yang menjadi faktor yang cukup berpengaruh pada *heat gain*, yaitu faktor bentuk. Faktor bentuk adalah faktor yang akan mempengaruhi pantulan dari radiasi yang diterima, atau dengan kata lain faktor yang dipengaruhi oleh jenis permukaan penerima radiasi. Maka dari itu perlu adanya percobaan dengan banyak variasi sehingga bisa didapatkan suatu perbandingan untuk menentukan hasil maksimal. Disini penulis mencoba membuat suatu percobaan dengan membandingkan penelitian yang telah ada dengan variasi yang berbeda. Percobaan yang dilakukan adalah membandingkan prototype pemanas air yang telah ada dengan mengganti jenis plat menjadi jenis plat datar dan plat bergelombang segitiga.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Apakah nilai heat gain yang dihitung secara teoritis dan dihitung berdasarkan eksperimen memiliki nilai yang sama?
2. Apakah nilai heat gain dipengaruhi oleh jenis plat?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Air yang digunakan berasal dari air bersih PDAM.
2. Kecepatan aliran udara di lingkungan diabaikan.
3. Suhu lingkungan dianggap konstan.
4. Intensitas matahari dihitung menggunakan rumus.
5. Pengambilan data diambil selama rentang waktu 08.00 – 16.00.
6. Diasumsikan nilai dari n (urutan tanggal dalam satu tahun) pada percobaan sama.

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai heat gain secara aktual.
2. Mengetahui nilai heat gain yang didapat berdasarkan jenis tiap plat.

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Penulis
Hasil penulisan tugas akhir ini bermanfaat dalam menambah wawasan penulis terhadap pemanfaatan energi matahari dalam bentuk sistem pemanas air.
2. Bagi Pihak lain
Hasil penulisan tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan alat pemanas air tenaga surya berikutnya.

1.6.Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II DASAR TEORI

Bab ini memuat tentang penelitian-penelitian terdahulu serta teori-teori yang menjadi dasar dari rancang bangun alat pemanas air tenaga surya dan perpindahan panasnya.

Bab III METODOLOGI RANCANG BANGUN

Bab ini memuat prosedur rancang bangun dan desain awal yang meliputi dimensi dan daftar komponen dari pemanas air tenaga surya. Semua itu dirangkum dalam diagram alir proses penulisan tugas akhir secara umum.

Bab IV PERHITUNGAN

Bab ini memuat tentang perhitungan-perhitungan panjang pipa, radiasi matahari yang diterima bumi, radiasi matahari yang diterima kolektor surya, Daya berguna yang dapat dihasilkan untuk memanaskan air.

Bab V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

LAMPIRAN

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

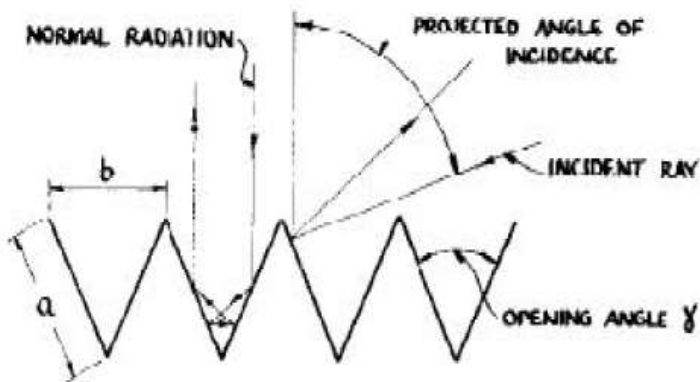
DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan kolektor surya sebagai pemanas air tenaga matahari adalah sebagai berikut:

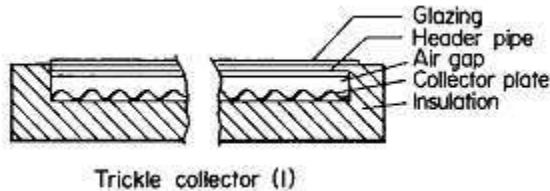
2.1.1. Penelitian Hollands (1965)

Melakukan penelitian pada kolektor energi surya dengan menggunakan plat absorber gelombang. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa dengan menggunakan pelat absorber gelombang akan meningkatkan absorbtivitas pelat terhadap radiasi matahari. Dengan adanya bentuk gelombang sinar matahari yang mengenai pelat absorber sebagian dipantulkan ke kaca dan sebagian lagi ke pelat gelombang disebelahnya



Gambar 2.1 Proses Pemantulan Berulang pada Plat Bergelombang

2.1.2. Penelitian Robert L. San Martin dan Gary J. Fjeld (1975)



Gambar 2.2 *Tricker Collector*

Kolektor diisolasi dengan *polyrethane foam insulation*. Kolektor pada gambar diatas menggunakan pelat absorber dari aluminium. Dari hasil eksperimen tersebut diketahui bahwa *Triclecollector* mempunyai efisiensi 35,2%, *Thermal trap collector* 57% dan *standard collector* 62,4%

2.1.3. Penelitian Meyer et al dan Randall et al (1978)

Meyer dan Randall melakukan penelitian dengan cara membandingkan besarnya rugi-rugi panas antara kolektor surya yang diberi penambahan *parallel slat array* dan kolektor surya tanpa penambahan *parallel slat array*, hasil penelitian menyebutkan pada sudut solar colector ($\beta=450$) dan *aspect ratio* ($A=2$), penambahan *parallel slat array* (TIM) dapat mengurangi setengah (0,5) kehilangan panas secara konveksi yang melewati *cover* bila dibandingkan dengan *solar collector* tanpa penambahan *parallel slat array* (TIM).

2.1.4. Penelitian Wang Shing An (1979)

Wang Shing An menganalisa perpindahan panas dan melakukan pengujian dengan menggunakan kolektor pelat absorber gelombang dari baja dengan ketebalan 0.8 mm untuk mengurangi kehilangan panas keatas menggunakan *cover ganda*. Dari eksperimen ini diperoleh persamaan efisiensi kolektor:

$$\eta = 0.68 - 7 \frac{(T_c - T_a)}{l}$$

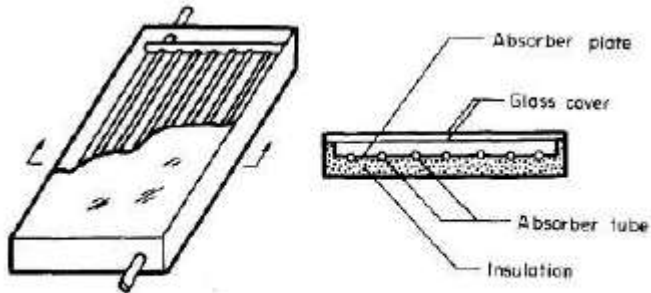


Fig. 1. Tube and sheet collector.

Gambar 2.3 Tube and Sheet Collector

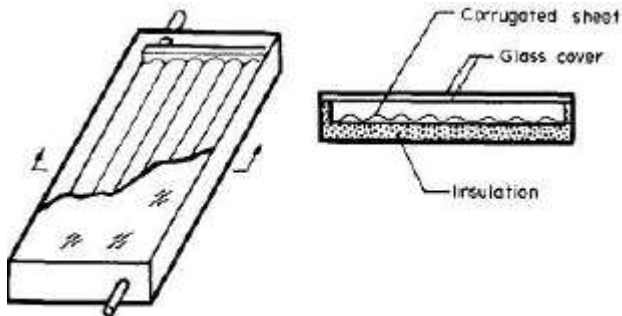


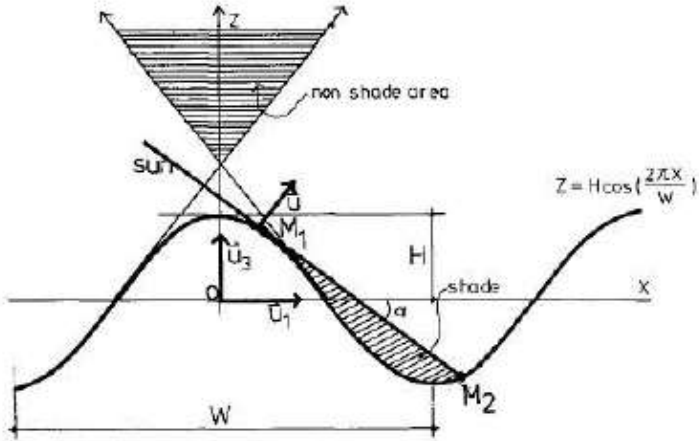
Fig. 2. Corrugated sheet collector.

Gambar 2.4 Corrugated Sheet Collector

2.1.5. Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan (1986)

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian unjuk kerja kolektor surya pemanas air pelat absorber gelombang. Pada eksperimen ini besarnya radiasi matahari sebagai *moving source* yang diterima oleh pelat bergantung pada *incident angle* yang terjadi pada permukaan gelombang plat. Diperoleh efisiensi dengan persamaan

$$\eta = 0.787 - \frac{10.822(T_{fi} - T_a)}{l}$$

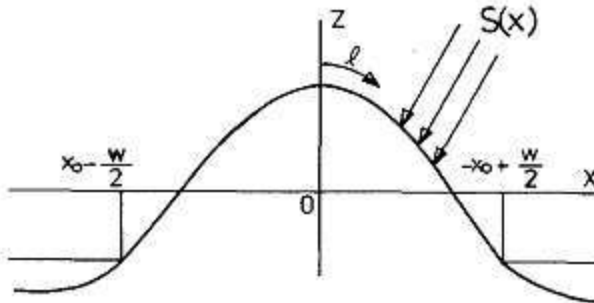


Gambar 2.5 Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari

Besarnya radiasi yang diserapakan bervariasi sepanjang sumbu x

$$S(x) = I_b \cdot R_b(x) \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho_g (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{(1 - \cos \beta)}{2}$$

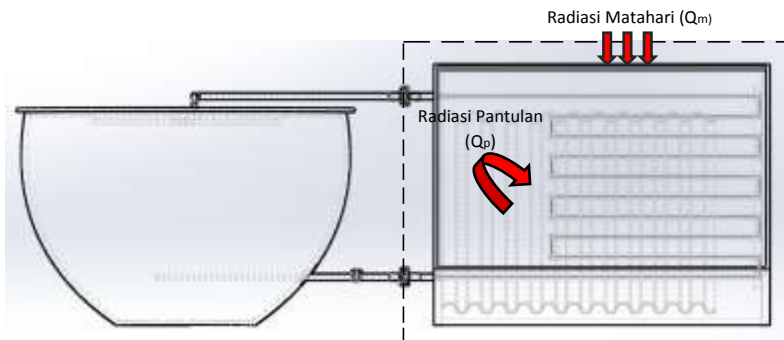
$$S = \int_{-\frac{w}{2}}^{+\frac{w}{2}} S(x) dx$$



Gambar 2.6 Variasi Besaran Radiasi Yang Diserap

2.1.6. Penelitian Renaldo Dan Adji (2015)

Renaldo dan Adji melakukan pengujian dengan membuat sebuah instalasi perpindahan panas sederhana yang dibuat dalam bentuk *prototype*. Instalasi tersebut terdiri dari pipa yang dialiri air dan sebuah plat yang di cat hitam. Hasil pengujian mereka menunjukkan bahwa terjadi reaksi pantulan radiasi pada benda hitam. Mereka menyimpulkan terdapat dua proses radiasi pada pengujian mereka yaitu radiasi langsung dari matahari yang diterima pipa dan radiasi pantulan dari panas matahari yang diterima oleh bagian bawah pipa.



Gambar 2.7 Model instalasi pemanas air tenaga surya sederhana

2.1.7. Penelitian Gilang (2016)

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian faktor emisivitas bentuk terhadap 3 buah jenis plat. Jenis plat yang diuji adalah plat datar, plat bergelombang setengah lingkaran dan plat bergelombang segitiga. Hasil dari pengujiannya adalah dari ketiga plat yang diuji, yang menghasilkan radiasi pantulan paling besar adalah plat dengan bentuk profil permukaan bergelombang segitiga. Hasil dari pengujian menunjukkan pengaruh dari radiasi pantulan pada plat bergelombang segitiga lebih besar. Ini dikarenakan faktor bentuk dari plat tersebut dapat memantulkan radiasi dari matahari berulang kali.

2.2. Asas Black

Asas Black adalah suatu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh Joseph Black. Asas ini menjabarkan:

- Jika dua buah benda yang berbeda yang suhunya dicampurkan, benda yg panas memberi kalor pada benda yang dingin sehingga suhu akhirnya sama
- Jumlah kalor yang diserap benda dingin sama dengan jumlah kalor yang dilepas benda panas
- Benda yang didinginkan melepas kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap bila dipanaskan.

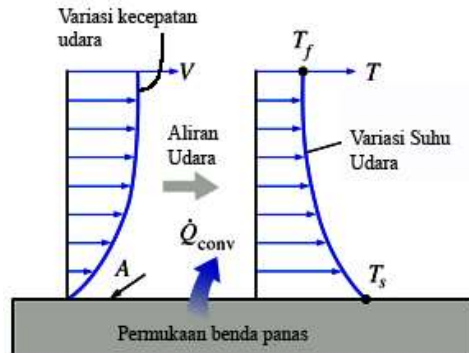
Jumlah panas, kecepatan penyaluran panas, dan fluks panas semua disimbolkan dengan perbedaan permutasi huruf Q . Mereka biasanya diganti dalam konteks yang berbeda. Jumlah panas dinotasikan sebagai Q , dan diukur dalam joule dalam satuan SI.

$$Q = m c \Delta T \quad (2.1)$$

2.3. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme, yaitu perpindahan energi yang disebabkan gerakan acak molekul (difusi) dan gerakan mikroskopis fluida didalam lapisan batas (*boundary layer*). Viskositas fluida dan sifat-sifat termal fluida, seperti konduktivitas termal, kalor spesifik dan *density* sangat

mempengaruhi perpindahan panas secara konveksi. Viskositas fluida akan mempengaruhi mass flow rate dari fluida. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula gradien temperatur sehingga panas yang dibawa akan lebih besar.



Gambar 2.8 Distribusi kecepatan dan temperatur

2.4. Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi Adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ketempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Hukum Fourier menyatakan bahwa laju perpindahan kalor dengan sistem konduksi dinyatakan dengan :

- Gradien temperatur dalam arah- x dinyatakan dengan, dT/dx .
- Luas perpindahan kalor arah normal pada arah aliran kalor, A .

$$Q = -kA \left[\frac{dT}{dx} \right] \quad (2.2)$$

Q_x = laju perpindahan kalor (Watt),

k = konduktivitas thermal, merupakan sifat material (W/m.C),

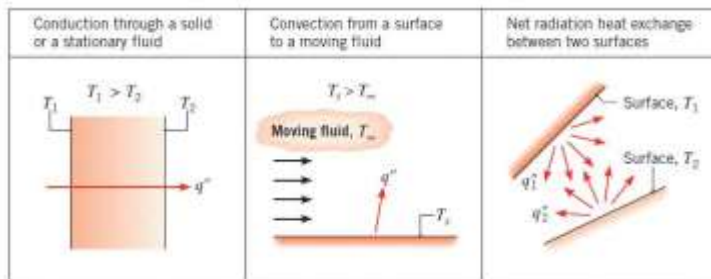
A = luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan kalor (m^2)

dT/dx = Gradien temperatur dalam arah x (C/m)

2.5. Perpindahan Panas Radiasi

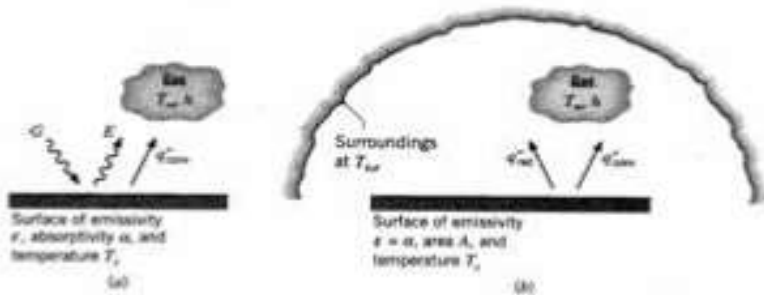
Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan} \quad (2.3)$$



Gambar 2.9 Metode perpindahan panas

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda - benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas.



Gambar 2.10 Laju perpindahan panas radiasi

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan berasal dari energi termal yang dibatasi oleh suatu permukaan. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (vakum).

Kekuatan energi yang dilepaskan setiap luasan menurut Stefan-Boltzman pada permukaan hitam yaitu:

$$E_b = \sigma \times T_s^4 \quad (2.4)$$

Dimana:

- σ = Konstanta Boltzman
($5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m K^4}$)
- T_s = Temperatur Permukaan ($^{\circ}C$)

Dalam kenyataannya, temperatur permukaan berbeda dengan temperatur sekitar. Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata akan lebih kecil dari persamaan diatas, karena itu, untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu faktor yang disebut *emisivitas* (ϵ). Sehingga panas yang diradiasikan setiap luasan adalah:

$$q'' = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.5)$$

Dimana:

- q'' = Panas nyata yang diradiasikan per satuan luas permukaan ($\frac{W}{m^2}$)
- ε = Emisivitas fluida
- T_{sur} = Temperatur lingkungan sekitar ($^{\circ}C$)

2.6. Radiasi Matahari

Energi matahari adalah dapat dinikmati oleh bumi dalam bentuk radiasi matahari, namun satu tempat dengan tempat lainnya tidak memiliki jumlah energi yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya adalah sebagai berikut.

2.6.1. Konstanta Matahari

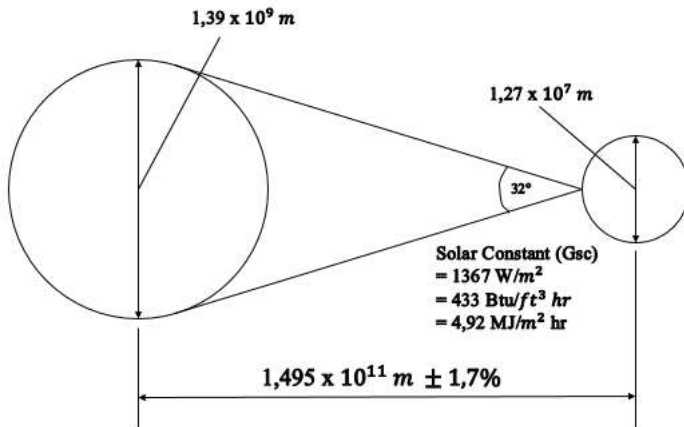
Konstanta matahari didefinisikan sebagai jumlah energi matahari yang tiba di puncak atmosfer bumi (TOA = Top of Atmosfer) dalam arah tegak lurus terhadap sinar matahari datang pada jarak rata-rata bumi-matahari. Ketika memasuki atmosfer bumi maka energi matahari akan mengalami penyusutan (*extinction*)

Matahari memancarkan energi dalam bentuk cahaya ke segala arah. Energi yang dipancarkan tersebut, hanya sebagian kecil yang sampai di bumi. Namun sejumlah energi yang kecil tersebut sudah cukup sebagai sumber energi di bumi. Berdasarkan hasil penelitian, setiap 1 cm² atmosfer bumi rata-rata menerima energi matahari sebesar 2 kalori setiap menit (8,4 joule/menit).

Jarak rata-rata antara matahari dan bumi yaitu $1,495 \times 10^{11}$ m. Hubungan geometri matahari-bumi diperlihatkan pada gambar 2.5. Radiasi yang dipancarkan matahari menghasilkan intensitas radiasi diluar atmosfer yang mendekati konstan. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi yang dipancarkan matahari tiap satuan waktu yang diterima oleh suatu luasan permukaan yang tegak lurus arah perambatan radiasi pada suatu satuan astronomi diluar atmosfer.

Berbagai pengukuran radiasi matahari dilakukan dengan bermacam alat ukur, diantaranya oleh Frochlich (1977) yang

merekomendasikan harga G_{sc} sebesar 1373 W/m^2 dengan kemungkinan kesalahan 1 – 2 %. World Radiation Center (WRC) mengambil harga sebesar 1367 W/m^2 dengan ketelitian 1%.



Gambar 2.11 Hubungan ruang Matahari – Bumi

2.6.2. Geometri Radiasi Surya

Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi surya pada permukaan tersebut. Hubungan antara suatu permukaan dengan radiasi surya yang datang dapat digambarkan dengan beberapa istilah yang diwakili oleh simbol-simbol sudut dibawah ini:

- Φ = Sudut lintang merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, dimana untuk arah Utara diberi tanda positif, $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- δ = Sudut deklinasi matahari terhadap garis zenith di ekuator pada saat jam 12.00 waktu matahari atau letak sudut kemiringan bumi-matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi-matahari. Untuk arah Utara diberi tanda positif, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.

- β = Sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud dengan bidang horizontal, $-180^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- γ = Sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proteksi dan arah normal permukaan pada bidang horizontal dengan garis meridian, (titik nol diselatan, kearah Timur bertanda negatif, kearah Barat bertanda positif), $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- θ = Sudut insiden datang-timpa, yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan arah normal dan permukaan tersebut.
- θ_z = Sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan garis normal bidang horizontal.
- α = Sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan bidang horizontal.
- ω = Sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol tepat pada jam 12.00 waktu matahari, kearah pagi bertanda positif, kearah petang bertanda negatif).

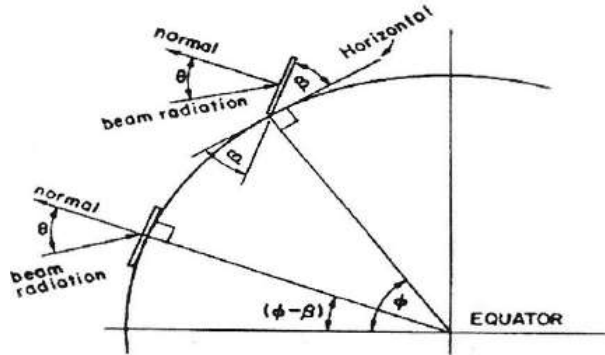
Sudut deklinasi (δ) dapat ditentukan dengan persamaan Cooper (1969), sebagai berikut:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(360 \times \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.6)$$

dimana n adalah nomor urut tanggal dalam satu tahun, dimulai $n = 1$ pada tanggal 1 Januari dan seterusnya. Sedangkan sudut datang matahari menurut Beckman ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & (\sin \delta \sin \Phi \cos \beta) - (\sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma) + \\ & (\cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega) + \\ & (\cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega) + \\ & (\cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega) \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \cos \omega_s &= -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \\ \cos \omega_s &= -\tan \phi \tan \delta \end{aligned} \quad (2.11)$$



Gambar 2.13 Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara

2.7. Radiasi Luar Angkasa pada Permukaan Horizontal

Radiasi luar angkasa atau bisa disebut radiasi ekstraterrestrial merupakan radiasi surya diluar bumi. Menghitung radiasi ekstraterrestrial akan berguna untuk mengetahui besarnya radiasi matahari langsung dan radiasi matahari difuse (sebaran). Radiasi surya yang diterima oleh suatu permukaan horizontal diluar atmosfer bumi pada kondisi dimana arah rambatan radiasi tegak lurus bidang permukaan, oleh Beckman dirumuskan sebagai:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (2.12)$$

Dimana G_{sc} adalah konstanta matahari dan n menyatakan urutan hari. Dengan mensubstitusikan persamaan (θ_z) kedalam persamaan diatas, maka diperoleh:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta) \quad (2.13)$$

Perhitungan radiasi surya harian seringkali diperlukan, maka persamaan (2.16) dapat diintegrasikan selama periode matahari terbit hingga terbenam. Maka radiasi matahari harian menurut persamaan yang diberikan Beckman menjadi:

$$G_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] x \left[\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (2.14)$$

Dimana sidit jam matahari terbenam (ω_s), dinyatakan dalam derajat. Sedangkan besarnya radiasi extraterrestrial setiap jam untuk suatu bidang horizontal dirumuskan oleh Beckman dengan persamaan:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] x \left[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (2.15)$$

2.8. Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse

Intensitas matahari yang menuju kolektor dibagi menjadi dua yaitu ada yang secara langsung dan ada pula yang melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (difuse).

2.8.1. Intensitas Matahari Langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_b = H_o(1 - k) \quad (2.16)$$

K merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_o) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$k = \frac{I_o}{H_o} \quad (2.17)$$

2.8.2. Intensitas Matahari Difuse (I_d)

Intensitas matahari difuse dapat dihitung dengan mengurangi radiasi total yang diterima permukaan bumi dengan radiasi langsung.

$$I_d = H_o - I_b \quad (2.18)$$

2.9. Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap

Permukaan pengumpul radiasi surya plat datar menyerap baik radiasi langsung maupun radiasi difusi. Radiasi yang datang pada suatu permukaan miring dapat diperkirakan dengan suatu faktor geometrik (R), yang menyatakan perbandingan radiasi total yang jatuh pada permukaan miring terhadap radiasi yang diterima apabila pada posisi horizontal

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (2.19)$$

Faktor geometrik R dapat diimplementasikan pada komponen radiasi langsung maupun difusi, sehingga persamaan 2.22 menjadi:

$$R = \frac{I_{bT}}{I_b} \text{ dan } R = \frac{I_{dT}}{I_d} \quad (2.20)$$

Sehingga faktor geometrik R dapat dinyatakan dalam:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (2.21)$$

Dimana I_b adalah radiasi langsung, I_d adalah radiasi difuse, dan T adalah posisi dalam keadaan miring. Dalam hubungan dengan geometri radiasi surya, R_b dapat ditetapkan dengan persamaan:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.22)$$

Liu dan Jordan (1963) mengembangkan suatu model radiasi total pada permukaan miring yang terdiri atas tiga komponen yaitu radiasi langsung, radiasi difusi dan radiasi yang dipantulkan secara difusi dan tanah. Jadi radiasi surya tital pada permukaan yang membentuk sudut β adalah:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (2.23)$$

Dimana nilai ρ_g adalah faktor pemantulan radiasi permukaan sekeliling, dimana harga $\rho_g = 0,2$ digunakan untuk keadaan sekeliling yang tak bersalju dan $\rho_g = 0,7$ digunakan bila permukaan sekeliling diliputi salju.

2.10. Kolektor Surya Plat Bergelombang

Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya plat bergelombang, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap plat bergelombang yang bertindak sebagai pengumpul energi. Energi yang telah dikumpulkan plat ini kemudian dipancarkan dalam bentuk radiasi keruangan kolektor. Radiasi terpancar ini ketika mengenai kaca, sebagian akan dipantulkan kembali dan sebagian keluar dari kaca (rugi-rugi). Dengan adanya radiasi dari pantulan plat dan radiasi langsung dari matahari (bagian atas) maka udara didalam ruang kolektor akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada lingkungan sekitar untuk memanaskan air yang melalui pipa.

2.10.1. Bagian utama Kolektor Surya Plat Datar

Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian utama, sebagai berikut:

- a) Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari yang diteruskan oleh penutup (kaca) transparan. Bahan plat yang digunakan adalah seng yang memiliki konduktivitas tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan penyerapan panasnya.
- b) Kaca transparan, berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari sekaligus mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekitar.
- c) Pipa, pipa digunakan sebagai tempat mengalirnya air yang akan dipanaskan. Pipa akan menerima panas hasil pantulan radiasi dari plat dan radiasi matahari setelah melalui kaca. Bahan pipa yang digunakan adalah pipa besi.
- d) Insulator, yaitu alat penyekat yang memiliki nilai konduktivitas yang sangat rendah. Fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalisir kehilangan panas pada bagian bawah, samping kolektor dan tangki penampung air.

2.10.2. Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Plat Datar dan Bergelombang

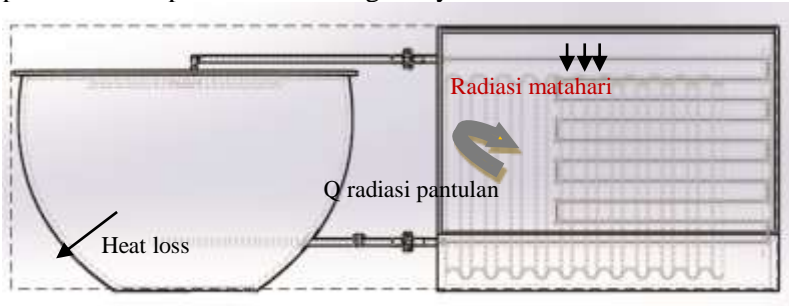
Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor akan diserap oleh pipa secara langsung (radiasi langsung) dan sebagian diserap plat yang nantinya akan dipantulkan ke pipa (pantulan). Energi panas yang hilang pada kolektor dinyatakan dengan total kehilangan panas (U_L) dikalikan dengan selisih antara temperatur pipa rata-rata dengan temperatur *ambient air* atau temperatur lingkungan sekitar.

Sementara untuk radiasi pantulan dari plat ke pipa, dipengaruhi oleh faktor bentuk (F_{ij}) antara plat dan pipa dan dikalikan dengan rumus radiasi. Jumlah energi berguna dengan luasan kolektor energi sebagai berikut:

$$Q_u = A_p [S - U_L(T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)] \quad (2.24)$$

2.11. Heat Gain dan heat loss

Heat gain adalah panas yang diterima oleh fluida (air) akibat seluruh perpindahan panas dari luar ke dalam yang berada pada instalasi pemanas air tenaga surya.



Gambar 2.14 Control Volume Instalasi

Nilai *heat gain* dari pemanas air tenaga surya didapat dari radiasi matahari dan radiasi pantulan dari plat.

Sedangkan *heat loss* adalah panas yang hilang dari fluida ke lingkungan akibat adanya perbedaan temperatur. Pada percobaan kali ini, *heat loss* bisa terjadi karena beberapa faktor, diantaranya:

- Pipa yang tidak terisolasi

Terdapat bagian pipa yang berada di luar kolektor surya, hal ini menyebabkan terjadinya konveksi oleh aliran udara yang berasal dari lingkungan. Konveksi ini menyebabkan perpindahan panas dari pipa ke lingkungan.



Gambar 2.15 Pipa yang tidak terisolasi

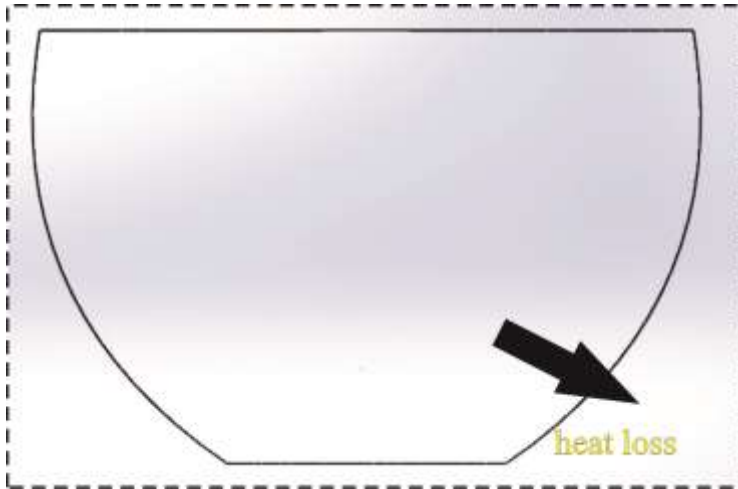
- Celah pada pipa masuk dan pipa keluar
Terdapat celah pada pipa masuk dan pada pipa keluar. Celah ini menyebabkan infiltrasi yang masuk ke ruangan. Akibat dari infiltrasi ini menyebabkan terjadinya konveksi pada plat dan pipa.



Gambar 2.16 Celah pada pipa masuk dan keluar

- *Heat loss* pada bak penampung air

Bak penampung air sudah terisolasi oleh karung goni dan *glasswool* namun isolasi ini tetap menyebabkan terjadinya perpindahan panas dari dalam bak ke lingkungan.



Gambar 2.17 *Heat loss* pada wadah penampung air

2.12. Isolator Panas

Insulasi termal (isolasi panas) adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas /kalor. Panas atau energi panas (kalor) bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Mengenai insulasi termal, hanya dibicarakan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, tapi isolator mengurangi panas yang lolos tersebut.

Isolasi termal dapat menjaga wilayah tertutup seperti bangunan atau tubuh agar terasa hangat lebih lama dari yang sewajarnya, tetapi itu tidak mencegah hasil akhirnya, yaitu masuknya dingin dan keluarnya panas. Isolator juga dapat bekerja sebaliknya, yaitu menjaga bagian dalam suatu wadah terasa dingin lebih lama dari biasanya. Insulator digunakan untuk memperkecil perpindahan energi panas.

Kemampuan insulasi suatu bahan diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi. Dalam teknik termal, sifat-sifat lain suatu bahan insulator atau isolator adalah densitas (ρ) dan kapasitas panas spesifik (c).

Bahan dengan konduktivitas termal (k) rendah menurunkan laju aliran panas. Jika nilai k lebih kecil, value, maka nilai resistansi termal yang berkaitan (R) akan lebih besar. Konduktivitas termal diukur dengan satuan watt-per-meter per Kelvin ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), dilambangkan dengan k . Semakin tebal bahan insulator, semakin tinggi pula resistansi termal atau nilai R bahan itu. Contoh isolator yang baik dan paling mudah didapat adalah glasswool dan karung goni



Gambar 2.18 Glass Wool Sebagai Isolator Panas

2.13. Alat Ukur Temperatur

Pada proses perhitungan energi berguna, dibutuhkan dua data yang merupakan bagian dari variabel perhitungan kerugian daya radiasi, yaitu selisih antara temperatur plat dan pipa. Oleh karena itu, digunakan termometer dalam proses pengukurannya.

2.13.1. Thermometer Infrared

Termometer inframerah menawarkan kemampuan untuk mendeteksi temperatur secara optik—selama objek diamati, radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu. Mereka menawarkan metode pengukuran suhu yang cepat dan akurat dengan objek dari kejauhan dan tanpa disentuh – situasi ideal di mana objek bergerak cepat, jauh letaknya, sangat panas, berada di lingkungan yang berbahaya, dan/atau adanya kebutuhan menghindari kontaminasi objek (seperti makanan, alat medis, obat-obatan, produk atau test, dll.). Produk pengukur suhu inframerah tersedia di pasaran, mulai dari yang fleksibel hingga fungsi-fungsi khusus/Termometer standar (seperti gambar), hingga sistem pembaca yang lebih kompleks dan kamera pencitraan panas. Ini adalah citra/gambar dari termometer inframerah khusus industri yang digunakan memonitor suhu material cair untuk tujuan kontrol kualitas pada proses manufaktur.



Gambar 2.19 Infrared Thermometer

Termometers inframerah mengukur suhu menggunakan radiasi kotak hitam (biasanya inframerah) yang dipancarkan objek. Kadang disebut termometer laser jika menggunakan laser untuk membantu pekerjaan pengukuran, atau termometer tanpa sentuhan untuk menggambarkan kemampuan alat mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisi nya, Temperatur objek dapat dibedakan.

Desain utama terdiri dari lensa pemfokus energi inframerah pada detektor, yang mengubah energi menjadi sinyal elektrik yang bisa ditunjukkan dalam unit temperatur setelah disesuaikan dengan variasi temperatur lingkungan. Konfigurasi fasilitas pengukur suhu ini bekerja dari jarak jauh tanpa menyentuh objek. Dengan demikian, termometer inframerah berguna mengukur suhu pada keadaan di mana termokopel atau sensor tipe lainnya tidak dapat digunakan atau tidak menghasilkan suhu yang akurat untuk beberapa keperluan.

Infrared Thermometer memberikan kemampuan untuk mendeteksi suhu secara optik selama objek diamati, radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu. Termometer ini menawarkan metode yang cepat dan akurat dalam pengukuran suhu dengan objek dari kejauhan serta tanpa harus disentuh.

Prinsip dasar dari termometer inframerah ialah bahwa seluruh obyek yang memancarkan energi infra merah yang semakin panas, maka molekulnya semakin aktif serta semakin banyak energi infra merah yang akan dipancarkan.

Cara penggunaan termometer inframerah ini ialah hanya dengan mengarahkannya saja ke objek yang hendak diukur suhunya, maka termometer jenis ini akan membaca suhu objek tersebut. Infrared Thermometer umumnya Asmat berguna dalam pengukuran dapur tinggi atau furnace dalam industri peleburan ataupun yang suhu permukaannya tak memungkinkan untuk disentuh serta untuk penggunaan umum yang lainnya, semisal:

- Mengukur suhu benda-benda yang bergerak, semisal : Conveyor, Mesin, dll.
- Mengukur suhu benda yang berbahaya, semisal : jarak yang tinggi, tegangan tinggi, serta sulit untuk dijangkau, dll.
- Mendeteksi suhu tubuh makhluk hidup, semisal manusia, hewan, dll.
- Mengukur suhu yang terlalu tinggi serta sulit didekati ataupun sulit disentuh, contohnya : Furnace, thermocouple, dll.
- Mendeteksi awan untuk sistem pengoperasian teleskop jarak jauh.
- Memeriksa suhu pemanas atau oven, yang bertujuan untuk kontrol serta kalibrasi.
- Memeriksa peralatan mekanika ataupun kotak sakering listrik ataupun saluran hotspot.
- Memonitor proses pendinginan ataupun pemanasan material, yang bertujuan untuk penelitian serta pengembangan ataupun quality control pada manufaktur.
- Mendeteksi titik api atau menunjukkan diagnosa terhadap produksi papan rangkaian listrik.
- Memeriksa titik api bagi pemadam kebakaran.

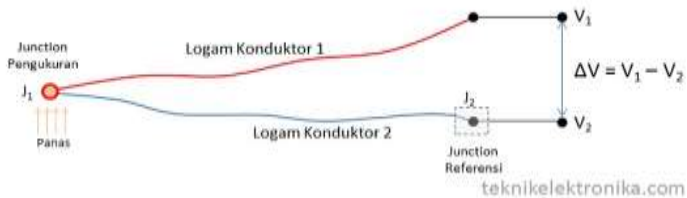
2.13.2. Termokopel



Gambar 2.20 Termokopel

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.21 Cara Kerja Termokopel

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1\ \mu\text{V} - 70\ \mu\text{V}$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai prosedur pembuatan alat pemanas air tenaga surya sederhana. Beberapa tahapan didasarkan dan divariasikan berdasarkan referensi dari literatur dan tugas akhir yang telah dibuat sebelumnya. Prosedur penyusunan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.1. Persiapan Awal

1. Penentuan tema awal tugas akhir mengenai “Studi Eksperimental Perbandingan Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Kolektor Surya Plat Datar, Plat Bergelombang Setengah Lingkaran dan Plat Bergelombang Segitiga”
2. Pengajuan tema serta permohonan persetujuan kepada dosen pembimbing tugas akhir.

Selanjutnya, kegiatan pendukung proses persiapan adalah sebagai berikut :

1. Membaca dan mencari referensi mengenai pemanas air tenaga surya.
2. Asistensi ke dosen pembimbing Tugas akhir

3.2. Langkah Penyusunan Tugas Akhir

Urutan-urutan pekerjaan yang harus dilakukan dalam menyusun tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penentuan topik
Proses pengambilan keputusan topik tugas akhir secara umum.
2. Asistensi dengan Dosen
Berdiskusi untuk membahas konsep, judul, hasil percobaan serta perubahan-perubahan dari topik yang telah diputuskan.
3. Studi Literatur
Mempelajari referensi-referensi yang berhubungan dengan heat exchanger yang dapat menunjang dasar teori.
4. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam memanaskan air, hasil akhir dari percobaan berupa temperatur air, plat dan pipa.

5. Analisa hasil pengujian

Performa dapat di analisa dari heat gain dan heat loss yang telah dihitung berdasarkan data yang di peroleh dari praktikum.

6. Pembuatan buku tugas akhir

Pembuatan buku tugas akhir dimana buku tersebut berisi tentang latar belakang, dasar teori, metodologi , pembahasan dan kesimpulan dari tugas akhir.

3.3. Instalasi Heat Exchanger Yang Telah Ada

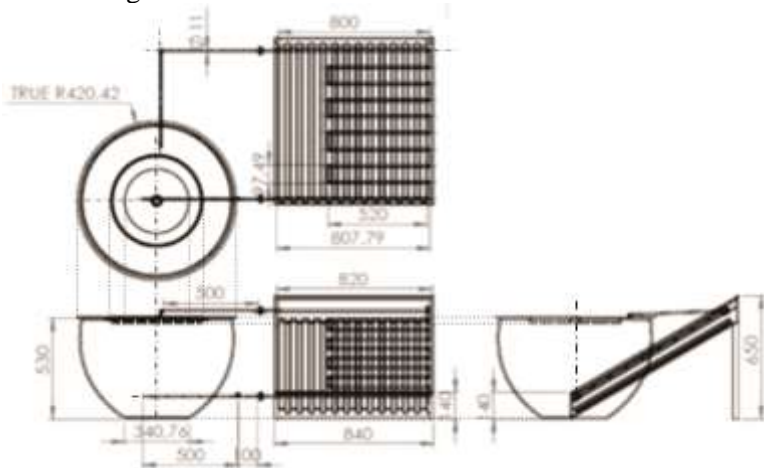


Gambar 3.1 Instalasi heat exchanger

Keterangan :

1. Discharge Heat exchanger
2. Wadah penampung air
3. Gate valve
4. Plat
5. Kaca

- 6. Pipa
- 7. Casing



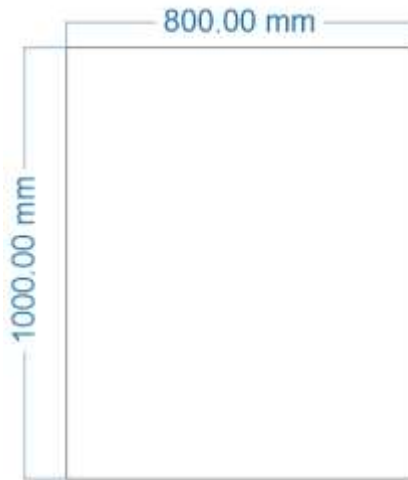
Gambar 3.2 Gambar teknik dari instalasi heat exchanger

Perencanaan sistem pemanas air tenaga surya ini mengacu pada pertimbangan faktor-faktor berikut:

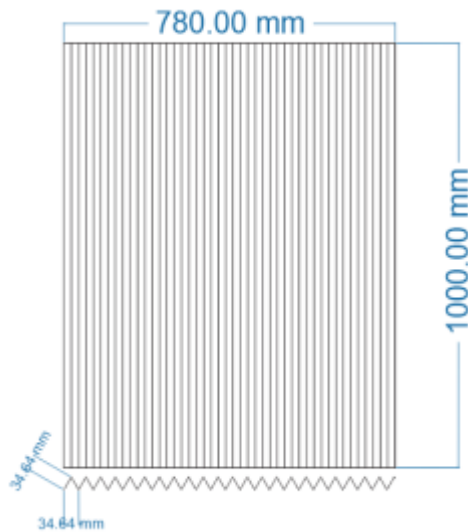
- a. Menggunakan sistem sesederhana mungkin (tepat guna).
- b. Dapat dikerjakan dengan teknologi sederhana.
- c. Menggunakan material-material yang mudah didapat.
- d. Mudah dioperasikan.
- e. Biaya pembuatan yang murah.
- f. Perawatan mudah dan murah.

3.4. Dimensi dari jenis plat yang akan digunakan

Jenis plat yang akan digunakan adalah plat berjenis sama namun memiliki profil permukaan yang berbeda.



Gambar 3.3 Dimensi plat datar



Gambar 3.4 Dimensi plat bergelombang segitiga

3.5. Parameter yang di ukur

1. Waktu yang dibutuhkan untuk air memenuhi volume sebesar 1 liter pada bukaan katup penuh.
2. Temperatur air pada 5 titik yang berbeda dengan jenis plat datar.
3. Temperatur plat pada 5 titik yang berbeda dengan jenis plat datar.
4. Temperatur pipa pada 5 titik yang berbeda dengan jenis plat datar.
5. Temperatur air pada 5 titik yang berbeda dengan jenis plat bergelombang segitiga.
6. Temperatur plat pada 5 titik yang berbeda dengan jenis plat bergelombang segitiga.
7. Temperatur pipa pada 5 titik yang berbeda dengan jenis bergelombang segitiga.

3.6. Alat ukur yang digunakan

1. Gelas ukur
Gelas ukur berfungsi untuk mengukur volume keluaran dari bukaan katup.
2. Stopwatch
Berfungsi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan air untuk memenuhi 1000 ml.
3. Termocouple
Cara penggunaan thermocouple :
Memasang baterai 9 volt lalu tekan tombol ON. Hubungkan probe dengan konektor pada bagian atas. Lalu putar posisi ke $^{\circ}\text{C}$. Celupkan ujung probe ke dalam air untuk mengukur termocouple tersebut lalu tunggu hingga angka menjadi stabil. matikan termometer dengan menekan tombol OFF. Alat ini berfungsi untuk mengukur temperatur Air yang berada pada bak.
4. Termometer laser
sebuah alat ukur suhu yang dapat mengukur temperatur tanpa bersentuhan dengan obyek yang akan diukur suhunya. Alat ini digunakan untuk mengukur permukaan pipa dan plat.

3.7. Tahap-Tahap pengujian

3.7.1. Alat dan Bahan

1. Air sebanyak 60 liter
2. Termocouple
3. Gelas ukur
4. Stopwatch
5. Termometer laser

3.7.2. Persiapan Awal

1. Pastikan instalasi perpipaan terpasang dengan baik dan tidak terdapat kebocoran
2. Pastikan sumber listrik berfungsi dengan baik
3. Pastikan pompa dapat berfungsi
4. Pastikan tidak terdapat kotoran pada kaca yang menghalangi cahaya matahari masuk ke plat kolektor
5. Pastikan cuaca di lokasi praktikum sedang cerah

3.7.3. Prosedur Pengujian Heat Gain

1. Isi air pada wadah penampung sebanyak 60 liter.
2. Sambungkan steker pompa pada stop kontak untuk menyalakan pompa.
3. Buka gate valve dengan kondisi fully open.
4. Gunakan termocouple untuk mengukur temperatur air pada 5 titik yang berbeda, dan gunakan termometer laser untuk mengukur pipa dan plat.
5. Lakukan pengukuran tiap satu jam sekali dimulai dari jam 08.00 – 16.00
6. Setelah pukul 16.00 akhiri pengujian.
7. lakukan 2 kali praktikum tiap jenis plat.

3.7.4. Pengujian Heat Loss

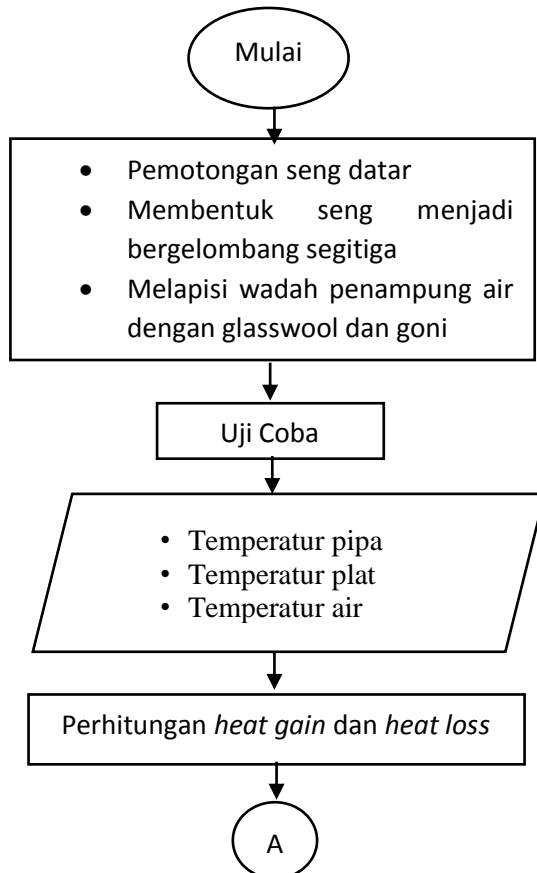
1. mulai pengujian pada pukul 08.00
2. Isi air pada wadah penampung sebanyak 60 liter.
3. Sambungkan steker pompa pada stop kontak untuk menyalakan pompa.
4. Buka gate valve dengan kondisi fully open
5. Gunakan termocouple untuk mengukur air di dalam bak pada pukul 14.00 dan 04.00

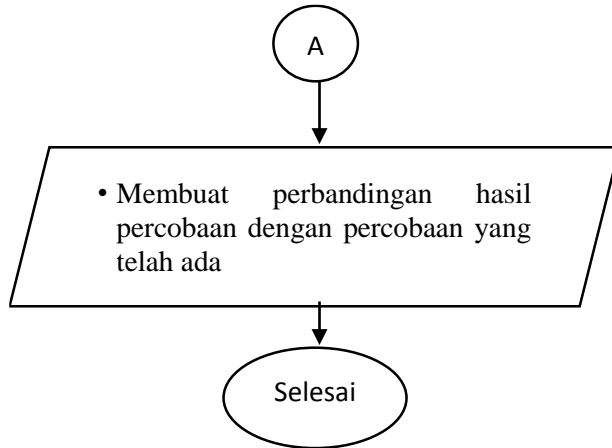
6. Matikan pompa setelah pukul 14.00

3.7.5. Perhitungan data

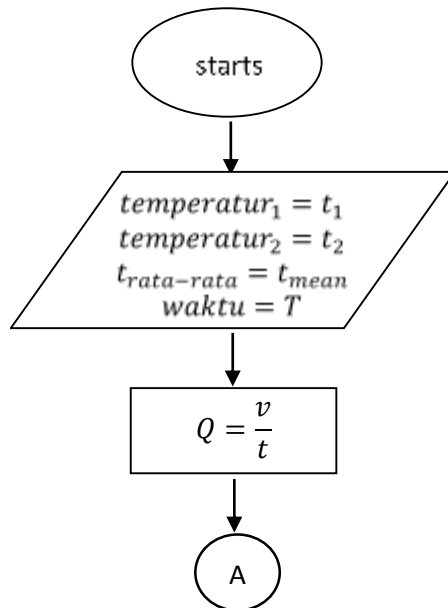
1. Hitung nilai kapasitas tiap jenis plat
2. Hitung nilai $\Delta t_{rata-rata}$ dan ρ pada pukul 08.00-14.00
3. Hitung nilai $\Delta t_{rata-rata}$ dan ρ pada pukul 14.00-04.00
4. Hitung nilai m pada bak penampung air
5. Hitung nilai heat gain dan heat loss dengan rumus $Q=mC\Delta t$
6. Buat histogram perbandingan untuk jenis plat

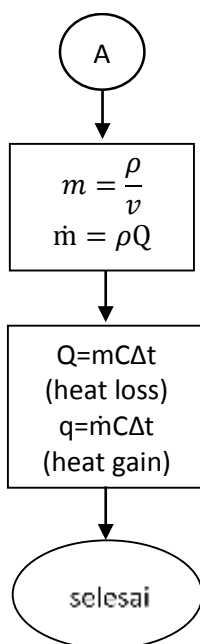
3.8 Diagram Alir Tugas Akhir





3.9 Diagram Alir Perhitungan Heat Gain dan Heat Loss





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

4.1. Perhitungan Kapasitas

Kapasitas perlu diketahui dikarenakan kapasitas berfungsi untuk mengetahui laju aliran massa pada pipa. Kapasitas diperoleh dengan cara membagi volume sebesar 1000 ml dengan waktu yang dibutuhkan fluida (air) untuk memenuhi volume sebesar 1000 ml.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = kapasitas m^3/s

V = volume (m^3)

t = waktu yang dibutuhkan untuk mengisi 1000 ml

Dari data pengujian yang telah diperoleh didapat waktu untuk bukaan katup *fully open* adalah 2,4 detik. Maka nilai Q didapat :

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0,001m^3}{2,4} = 0,000416 \frac{m^3}{s}$$

4.2. Data Temperatur

Dari hasil pengujian temperatur air dimana tiap jenis plat dilakukan pengujian sebanyak 2 kali.

Tabel 4.1 Temperatur air pada jenis plat bergelombang setengah lingkaran percobaan ke-1

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	31	31	31	31	31	31

9	36	35	35	35	35	35
10	38	38	38	38	38	38
11	41	41	41	41	41	41
12	45	45	45	45	46	45,2
13	46	46	46	46	46	46
14	47	47	47	47	47	47
15	46	46	46	46	46	46
16	45	45	45	45	45	45

Tabel 4.2 Temperatur air pada jenis plat bergelombang setengah lingkaran percobaan ke-2

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	32	32	32	32	32	32
9	36	36	36	36	36	35
10	38	38	38	38	38	38
11	43	43	43	43	43	43
12	48	48	48	48	48	48
13	49	49	49	49	49	49
14	50	50	50	50	50	50
15	49	49	50	50	50	49,6
16	49	49	49	49	49	49

Tabel 4.3 Temperatur air pada jenis plat datar percobaan ke-1

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	28	28	28	28	28	28
9	31	31	31	31	31	31
10	36	36	36	36	36	36
11	39	39	39	39	39	39

12	44	44	44	44	44	44
13	47	47	47	47	47	47
14	49	49	49	49	49	49
15	48	48	48	48	48	48
16	47	47	48	47	47	47.2

Tabel 4.4 Temperatur air pada jenis plat datar percobaan ke-2

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	28	28	28	28	28	31
9	33	33	33	33	33	33
10	36	36	36	36	36	36
11	40	40	40	40	40	40
12	44	44	44	44	44	44
13	46	46	46	46	46	46
14	49	49	49	49	49	49
15	49	49	49	49	49	49
16	48	48	48	48	48	48

Tabel 4.5 Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga percobaan ke-1

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	28	28	28	28	28	28
9	36	36	36	36	36	36
39	39	39	39	39	39	39
11	46	46	46	46	46	46
12	50	50	50	50	50	50
13	52	52	52	52	52	52
14	55	55	55	55	55	55

15	53	53	53	53	53	53
16	51	51	51	51	51	51

Tabel 4.6 Temperatur air pada jenis plat bergelombang segitiga percobaan ke-2

Jam	temperatur air °C					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	29	29	29	29	29	29
9	35	35	35	35	35	35
10	40	40	40	40	40	40
11	46	46	46	46	46	46
12	50	50	50	50	50	50
13	52	52	52	52	52	52
14	54	54	54	54	54	54
15	52	52	52	53	52	52.7
16	51	51	51	51	51	51

4.3. Analisis Data Temperatur

Dari seluruh data temperatur air maka dapat ditentukan bahwa pukul 14.00 merupakan pucak dari temperatur air, hal ini dikarenakan temperatur air pada pukul 14.00 adalah suhu yang paling tinggi. Temperatur pada pukul 14.00 dapat disimbolkan sebagai t_2 dan temperatur pada pukul 08.00 dapat disimbolkan t_1 .

Setelah menentukan nilai t_2 dan t_1 kita dapat menentukan nilai dari Δt untuk masing-masing jenis plat

- Δt pada plat bergelombang lingkaran

Praktikum pertama; $\Delta t_1 = t_2 - t_1 = 47^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C} = 16^\circ\text{C}$

Praktikum kedua; $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 50^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{18^\circ\text{C} + 16^\circ\text{C}}{2} = 17^\circ\text{C}$$

- Δt pada plat datar

Praktikum pertama; $\Delta t_1 = t_2 - t_1 = 49^\circ\text{C} - 28^\circ = 21^\circ\text{C}$

Praktikum kedua ; $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 49^\circ\text{C} - 31^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{21^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}}{2} = 19,5^\circ\text{C}$$

- Δt pada plat bergelombang segitiga

Praktikum pertama; $\Delta t_1 = t_2 - t_1 = 55^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C} = 27^\circ\text{C}$

Praktikum kedua ; $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 54^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{27^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C}}{2} = 26^\circ\text{C}$$

Table 4.7 Δt ($^\circ\text{C}$) tiap jenis plat

Jenis Plat	Δt ($^\circ\text{C}$)
Bergelombang lingkaran	17
Datar	19,5
Bergelombang segitiga	26

4.4. Perhitungan Massa Jenis

Masa jenis air diperoleh dari tabel A.8 (Introduction to fluid mechanic) dengan menggunakan data temperatur air rata-rata pada pukul 08.00 – 14.00.

ρ pada jenis plat bergelombang lingkaran :

temperatur rata-rata pada percobaan pertama : $40,457^\circ\text{C}$

temperatur rata-rata pada percobaan kedua : $42,142^\circ\text{C}$

$$\frac{t_{\text{mean1}} + t_{\text{mean2}}}{2} = t_{\text{mean12}}$$

$$\frac{40,457^\circ\text{C} + 42,142^\circ\text{C}}{2} = 41,3^\circ\text{C} = t_{\text{mean12}}$$

menggunakan tabel A.8 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density pada temperatur $41,3^\circ\text{C}$.

$$\begin{array}{rcl} 40^\circ\text{C} & = & 992 \\ 41,3^\circ\text{C} & = & x \\ 45^\circ\text{C} & = & 990 \end{array}$$

$$\frac{5}{3,7} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$x = \rho = 991,73 \frac{kg}{m^3}$$

p pada jenis plat datar :

temperatur rata-rata pada percobaan pertama : 39°C

temperatur rata-rata pada percobaan kedua : 39,857°C

$$\frac{39 + 39,857}{2} = 39,428^\circ c$$

menggunakan tabel A.8 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density pada temperatur 39,428 °c

$$\begin{array}{rcl} 40^\circ c & = & 992 \\ 39,428^\circ c & = & x \\ 45^\circ c & = & 990 \end{array}$$

$$\frac{5}{5,572} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$x = \rho = 992,228 \frac{kg}{m^3}$$

P pada jenis plat bergelombang segitiga

temperatur rata-rata pada percobaan pertama : 43,714 °c

temperatur rata-rata pada percobaan kedua: 43,714 °c

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = t_{mean12}$$

$$\frac{43,714 + 43,714}{2} = 43,714^\circ c$$

menggunakan tabel A.8 dengan interpolasi untuk menentukan nilai density pada temperatur 41°C

$$\begin{array}{rcl} 40^\circ c & = & 992 \\ 43,714^\circ c & = & x \\ 45^\circ c & = & 990 \end{array}$$

$$\frac{5}{1,286} = \frac{-2}{990 - x}$$

$$x = \rho = 990,514 \frac{kg}{m^3}$$

4.5. Laju Aliran Massa

Laju aliran massa diperoleh dengan cara mengkalikan kapasitas dengan masa jenis.

$$\dot{m} = Q\rho$$

\dot{m} = laju aliran massa di dalam pipa (kg/s)

Q = kapasitas (m³/s)

ρ = masa jenis air (kg/m³)

- Menhitung \dot{m} pada jenis plat bergelombang lingkaran, dimana $\rho=991,73 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{m^3}{s} \cdot 991,73 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 0,41255 \frac{kg}{s}$$

- Menghitung \dot{m} pada jenis plat datar, dimana $\rho = 992,28 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{m^3}{s} \cdot 992,28 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 0,41279 \frac{kg}{s}$$

- Menghitung \dot{m} pada jenis plat bergelombang segitiga, dimana $\rho = 990,514 \text{ kg/m}^3$

$$\dot{m} = 0,000416 \frac{m^3}{s} \cdot 990,514 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 0,41205 \frac{kg}{s}$$

4.6. Overall Heat Gain

Pada perhitungan ini tidak menghitung nilai heat gain pada pipa namun menghitung overall heat gain pada air selama 08.00 dan 14.00 dengan asumsi tidak ada heat loss dari pipa ke lingkungan.

$$q = \dot{m}C\Delta t$$

q = heat gain (J/kg)

\dot{m} = laju aliran massa (Kg/s)

Δt = perbedaan temperatur fluida pada awal (08.00) dan puncak (14.00) ($^{\circ}\text{C}$)

- Menghitung heat gain pada jenis plat bergelombang lingkaran, $\Delta t = 17^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} = 0,41255 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0,41255 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 17^{\circ}\text{C}$$

$$q = 29315,803 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 29,315 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

- Menghitung heat gain pada jenis plat datar, $\Delta t = 19,5^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} = 0,41279 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$q = 0,41279 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 19,5^{\circ}\text{C}$$

$$q = 33646,513 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 33,647 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

- Menghitung heat gain pada jenis plat bergelombang segitiga, $\Delta t = 26^{\circ}\text{C}$ dan $\dot{m} = 0,41205 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

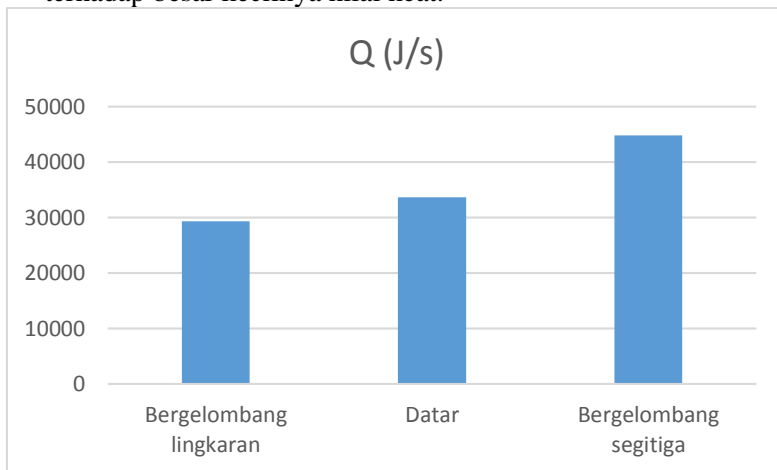
$$q = 0,41205 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 26^{\circ}\text{C}$$

$$q = 44781,594 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 44,782 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Tabel 4.8 Perhitungan heat gain

Jenis Plat	\dot{m} (kg/s)	C (J/kg°C)	Δt (°c)	Q (J/s)
Bergelombang lingkaran	0,41255	4180	17	29315,803
Datar	0,41279	4180	19,5	33646,513
Bergelombang segitiga	0,41205	4180	26	44781,594

Dari data tersebut dapat di analisa bahwa nilai heat gain paling besar pada kapasitas 0,000416 (m³/s) hal ini dikarenakan nilai dari \dot{m} yang sangat mempengaruhi dari nilai heat gain. Kalor jenis air yang bernilai 4180 (J/kg°C) selalu bernilai sama sehingga tidak mempengaruhi nilai heat gain. Δt memiliki pengaruh terhadap besar kecilnya nilai heat.



Gambar 4.1 Grafik heat gain – jenis plat

Dari gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa nilai heat gain pada jenis plat bergelombang segitiga paling tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya faktor bentuk suatu benda. Bentuk permukaan plat bergelombang segitiga dapat memantulkan radiasi

dari matahari berulang-ulang, sehingga panas yang diserap oleh benda hitam lebih banyak. Sedangkan untuk jenis plat setengah lingkaran lebih banyak memantulkan radiasi matahari ke lingkungan, sehingga panas yang diserap oleh plat lebih kecil dari jenis plat bergelombang segitiga.

4.7. Validasi Heat Gain

Nilai heat gain secara actual dalam kapasitas fully open telah diketahui maka kita dapat membandingkan nilai heat gain secara actual dengan nilai heat gain secara teoritis pada kondisi fully open dari pemanas air tenaga surya.

4.7.1 Perhitungan Panjang Pipa (l_p)

Dengan kapasitas pompa $1500 L/jam = 0,000416 m^3/s$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

$$v = \frac{4 \cdot (0,000416 m^3)}{3,14 \cdot (0,0127 m)^2}$$

$$v = 3,28 m/s$$

$l_p = v \cdot t$ (sekon dalam satu siklus, ditentukan 1 siklus = 2 sekon)

$$l_p = 3,28 m/s \times 2 s$$

$$l_p = 6,57 meter$$

Dengan memperhatikan dimensi kolektor surya (104cm x 84cm), maka 6,57 meter pipa dibagi menjadi 10 laluan.

4.7.2. Analisa Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari diambil berdasarkan letak geografis serta pada waktu tertentu. Percobaan ini dilakukan dengan kondisi:

- Pengamatan dilakukan di kampus D3 Teknik Mesin ITS pada 10 Desember 2016 (n=344), dengan kisaran waktu antara pukul 08.00 – 16.00 WIB.

- Letak geografis berada pada 7 LS dan 112,8 BT diambil dari data geografis letak ITS Surabaya, maka diketahui besar sudut latitude $\Phi = -7^\circ$ (tanda negatif berarti posisi lokasi berada dibelahan bumi bagian selatan).

4.7.3. Analisa Sudut Jam Matahari

Diketahui besar sudut per jam matahari adalah 15° per jam, maka dapat dicari sudut jam matahari pengamatan dari pukul 08.00 – 16.00.

- $\omega_1 = -15^\circ (08.00 - 12.00) = -90^\circ$
 $\omega_2 = -15^\circ (12.00 - 16.00) = -45^\circ$
 $\omega_{rata-rata} = \frac{(-90^\circ - 45^\circ)}{2} = -67,5^\circ$
- Konstanta Matahari $G_{sc} = 1367 \frac{J}{m^2 s}$

Bumi dalam peredarannya mengitari matahari, berotasi pada sumbunya yang condong sebesar $23,45^\circ$ terhadap bidang eliptika. Kemiringan sumbu putar bumi ini menyebabkan adanya variasi sudut antara garis bumi-matahari terhadap bidang ekuator bumi setiap harinya. Sudut ini disebut sudut deklinasi matahari. Sudut deklinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360 \times \frac{284+344}{365}\right)$$

$$\delta = -23,0^\circ$$

4.7.4. Analisa Sudut Datang Cahaya Matahari

Sudut datang matahari dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\cos\theta &= (\sin\delta \sin\Phi \cos\beta) - (\sin\delta \cos\Phi \sin\beta \cos\gamma) \\
&\quad + (\cos\delta \cos\Phi \cos\beta \cos\omega) \\
&\quad + (\cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega) \\
&\quad + (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega) \\
\cos\theta &= [\sin(-23,0^\circ) \cdot \sin(-7^\circ) \cdot \cos(30^\circ)] \\
&\quad - [\sin(-23,0^\circ) \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(180^\circ)] \\
&\quad + [\cos(-23,0^\circ) \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \cos(30^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ)] \\
&\quad + [\cos(-23,0^\circ) \cdot \sin(-7^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(180^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ)] \\
&\quad + [\cos(-23,0^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \sin(180^\circ) \cdot \sin(-67,5^\circ)] \\
\cos\theta &= (0,0413) - (0,1941) + (0,3041) + (0,0215) + (0) \\
\cos\theta &= 0,1728
\end{aligned}$$

4.7.5. Sudut Datang Bidang Horizontal

Karena letaknya berada dibagian bumi selatan, sehingga:

$$\begin{aligned}
\cos\theta_z &= \cos(\Phi + \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \cdot \sin\delta \\
\cos\theta_z &= \cos(-7^\circ + 30^\circ) \cdot \cos(-23,0^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ) + \\
&\quad \sin(-7^\circ - 30^\circ) \cdot \sin(-23,0^\circ) \\
\cos\theta_z &= 0,5608
\end{aligned}$$

4.7.6. Radiasi Matahari Extraterrestrial Bidang Horizontal

Besarnya sudut jam matahari terbenam:

$$\begin{aligned}
\cos\omega_s &= -\frac{\sin\Phi \sin\delta}{\cos\Phi \cos\delta} \\
\cos\omega_s &= -\frac{\sin(-7) \sin(-23,0)}{\cos(-7) \cos(-23,0)} \\
\cos\omega_s &= -\frac{0,047651}{0,914135} \\
\cos\omega_s &= -0,521268 \\
\omega_s &= 58,583^\circ
\end{aligned}$$

Radiasi matahari harian selama matahari terbit sampai tenggelam dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
H_o &= \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \\
&\quad \times \left[\cos\Phi \cos\delta \cos\omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin\Phi \sin\delta \right] \\
H_o &= \frac{24 \times 3600}{3,14} \cdot (1367 \text{ W/m}^2) \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \cdot 344}{365}\right) \right] \\
&\quad \times [\cos(-7^\circ) \cdot \cos(-23,0^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ) \\
&\quad + \frac{3,14 \cdot 58,583^\circ}{180} \sin(-7^\circ) \cdot \sin(-23,0^\circ)] \\
H_o &= 15498105,63 \text{ J/m}^2_s
\end{aligned}$$

Intensitas radiasi matahari ekstraterestrial dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
I_o &= \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \\
&\quad [\cos\Phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin\Phi \sin\delta] \\
I_o &= \frac{12 \times 3600}{\pi} \cdot (1367 \text{ W/m}^2) \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \cdot 344}{365}\right) \right] \times \\
&\quad \left[\cos(-7^\circ) \cdot \cos(-23,0^\circ) \cdot (\sin(-45^\circ) - \sin(-90^\circ)) \right. \\
&\quad \left. + \frac{\pi (-45^\circ + 90^\circ)}{180} \sin(-7^\circ) \sin(-23,0^\circ) \right] \\
I_o &= 13249917,63 \text{ J/m}^2_s
\end{aligned}$$

4.7.7. Intensitas Matahari Langsung dan Intensitas Matahari Difuse

Intensitas matahari yang melewati atmosfer terbagi menjadi dua, yaitu intensitas yang secara langsung diteruskan menuju ke kolektor dan intensitas yang diteruskan ke kolektor melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (difuse).

4.7.8. Intensitas Matahari Langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_b = H_0 \cdot (1 - k)$$

K merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_0) yang dapat dirumuskan sebagai:

$$k = \frac{I_o}{H_0}$$

$$k = \frac{13249917,63}{15498105,63}$$

$$k = 0,854938$$

Sehingga:

$$I_b = 15498105,63 \cdot (1 - 0,854938)$$

$$I_b = 2248155,203 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.7.9. Intensitas Matahari Diffuse (I_d)

$$I_d = H_0 - I_b$$

$$I_d = 15498105,63 \text{ W/m}^2 - 2248155,203 \text{ W/m}^2$$

$$I_d = 13249950,43 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.7.10. Intensitas Matahari Total yang Diterima oleh Permukaan Bumi (I_T)

Setelah melewati atmosfer, radiasi matahari akan diserap, diteruskan dan sebagian lagi dipantulkan. Dari ketiga pengaruh itu, akan didapatkan besarnya intensitas matahari total yang diterima oleh permukaan bumi, yaitu:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

Dimana:

R_b adalah perbandingan sudut datang matahari (θ) dengan bidang horizontal (θ_z)

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

$$R_b = \frac{0,1728}{0,5608}$$

$$R_b = 0,3081$$

ρ adalah pantulan dari tanah, bernilai 0,2. β adalah sudut kemiringan kolektor terhadap bidang horizontal. sehingga I_T dapat dicari dengan persamaan:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

$$I_T = \left[2248155,203 \text{ W/m}^2 \cdot 0,3081 \right]$$

$$+ \left[13249950,43 \text{ W/m}^2 \left(\frac{1 + \cos(30)}{2} \right) \right]$$

$$+ \left[(2248155,203 \text{ W/m}^2 \right.$$

$$+ 13249950,43 \text{ W/m}^2) 0,2 \left(\frac{1 - \cos(30)}{2} \right) \left. \right]$$

$$I_T = 13530613,1 \text{ J/m}^2 \text{ s}$$

4.7.11. Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima oleh Plat Absorber Kolektor (S)

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh plat absorber kolektor yang sangat dipengaruhi oleh besarnya transmisivitas, absorpsivitas dan refleksivitas bahan untuk plat dan cover. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

- Bahan cover adalah kaca transparan dengan $\tau_g = 0,64$ dan $\rho_g = 0,03$
- Bahan absorber adalah seng bergelombang yang dicat hitam dengan $\alpha = 0,97$

$$S = \tau_g \cdot \rho_g \cdot \alpha_p \cdot I_T$$

$$S = (0,64) \cdot (0,03) \cdot (0,97) \cdot (13530613,1)$$

$$S = 251994,1384 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.7.12. Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Kaca ke Udara

$$hr_{g-atm} = \sigma \cdot \varepsilon_g \cdot (T_g + T_{atm}) \cdot (T_g^2 + T_{atm}^2)$$

$$hr_{g-atm} = (5,67 \times 10^{-8}) \cdot (0,9) (311 + 304,5) \cdot (311^2 + 304,5^2)$$

$$hr_{g-atm} = 5,993487227 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_1 = \frac{1}{5,993487227}$$

$$R_1 = 0,166847773 \text{ m}^2\text{K/W}$$

4.7.13. Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Plat ke Kaca

$$hr_{p-g} = \sigma \cdot \frac{(T_p + T_g) \cdot (T_p^2 + T_g^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 5,67 \times 10^{-8} \cdot \frac{(329,87 + 311) \cdot (329,87^2 + 311^2)}{\frac{1}{0,98} + \frac{1}{0,9} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 7,433703689 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_2 = \frac{1}{7,433703689}$$

$$R_2 = 0,134522445 \text{ m}^2\text{K/W}$$

4.7.14. Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total pada Kolektor Surya

$$u_L = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$u_L = \frac{1}{0,166847773 + 0,134522445}$$

$$u_L = 3,31817791 \text{ } ^w/m^2k$$

4.7.15. Perhitungan Heat Gain Secara Teoritis

Maka nilai heat gain secara teoritis bisa ditentukan.

- Jenis plat datar

$$q_t = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A_p (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,3764 [251994,1384 - 3,31817791 (316,5 - 304,5)] + [0,261 \cdot 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3764 (351^4 - 316,5^4)]$$

$$q_t = [94835,606] + [25,78797]$$

$$q_t = 94861,39397 \frac{j}{s}$$

$$q_a = 33646,513 \frac{j}{s}$$

- Jenis plat bergelombang lingkaran

$$q_t = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A_p (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,3764 [254784,361 - 3,31817791 (329,87 - 304,5)] + [0,261 \cdot 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3764 (335,58^4 - 329,87^4)]$$

$$q_t = [94570,177] + [4,1607]$$

$$q_t = 94574,3377 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q_a = 29315,803 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

- Jenis plat bergelombang segitiga

$$q_t = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A_p (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$q_t = 0,3764 [251994,1384 - 3,31817791 (318,5 - 304,5)] + [0,261 \cdot 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3764 (350^4 - 318,5^4)]$$

$$q_t = [94833,108] + [23,640883]$$

$$q_t = 94856,74888 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q_a = 33646,513 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Nilai q_t yang lebih besar daripada nilai q_a diakibatkan beberapa alasan berikut :

- Pipa yang tidak terisolasi
- Celah pada pipa masuk dan pipa keluar
- Heat loss pada bak penampung air

4.8 Heat Loss

Dalam hal ini analisa heat loss dibatasi hanya pada bak penampung air saja. Untuk menghitung heat loss maka kita perlu mengetahui nilai dari $m, \Delta t$ dan C . Nilai Δt dapat kita ketahui dengan mengurangi nilai temperatur air pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

Tabel 4.9 Data percobaan *heat loss*

Jenis Plat	Temperatur (°C)		Percobaan ke-
	Pukul 14.00	Pukul 04.00**	
Plat Datar	49	44	1
Plat Datar	49	42	2
Plat Bergelombang Segitiga	55	48	1
Plat Bergelombang Segitiga	54	48	2
Plat Bergelombang Lingkaran*	50	42	1
Plat Bergelombang Lingkaran*	50	41	2
* Berdasarkan percobaan penelitian sebelumnya			
** Dihari setelahnya			

Dari data tersebut dapat ditentukan :

- Pada jenis plat datar

$$\Delta_{tmean} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(49 - 44) + (49 - 42)}{2} = 6^\circ c$$

Nilai m dapat kita ketahui dengan persamaan berikut :

$$\rho v = m$$

ρ = masa jenis dari air pada temperatur rata-rata

v = volume air pada bak (m³), volume air pada bak bernilai 60 liter

m = massa air pada bak (kg)

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic dengan interpolasi menggunakan fungsi temperatur rata-rata pada pukul 14.00 dan pada pukul 04.00.

$$\frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{46,5^{\circ}C + 45,5^{\circ}C}{2} = 46^{\circ}C$$

$$\begin{array}{rcl} 45^{\circ}C & = & 990 \text{ kg/m}^3 \\ 46^{\circ}C & = & x \\ 50^{\circ}C & = & 988 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

$$\frac{5}{4} = \frac{-2}{988 - x}$$

$$X = \rho = 986,4 \text{ kg/m}^3$$

Maka massa air dalam bak:

$$m = \rho V$$

$$m = 986,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,06 \text{ m}^3 = 59,184 \text{ kg}$$

Setelah seluruh variabel ditemukan maka kita dapat menghitung nilai heat loss pada bak tersebut.

$$Q = mc\Delta t$$

$$Q = 59,184 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}C} \cdot 6^{\circ}C$$

$$Q = 1484334,72 \text{ J}$$

- Pada jenis plat bergelombang lingkaran

$$a) \Delta t_{mean} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(50-41) + (50-42)}{2} = 8,5^{\circ}C$$

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic dengan interpolasi.

$$b) \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{46^{\circ}C + 45,5^{\circ}C}{2} = 45,75^{\circ}C$$

$$\begin{array}{rcl} 45^{\circ}C & = & 990 \text{ kg/m}^3 \\ 45,75^{\circ}C & = & x \\ 50^{\circ}C & = & 988 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

$$\frac{5}{4,25} = \frac{-2}{988 - x}$$

$$X = \rho = 989,7 \text{ kg/m}^3$$

$$c) \quad m = \rho V$$

$$m = 989,7 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,06m^3 = 59,382 \text{ kg}$$

$$d) \quad Q = mc\Delta t$$

$$Q = 59,382 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{J}{kg^\circ C} \cdot 8,5^\circ C$$

$$Q = 2109842,46 \text{ J}$$

- Pada jenis plat bergelombang segitiga

$$a) \quad \Delta_{tmean} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{(55-48) + (54-48)}{2} = 6,5^\circ C$$

ρ didapat dari table A.8 properties of water pada buku introduction to fluid mechanic dengan interpolasi.

$$b) \quad \frac{t_{mean1} + t_{mean2}}{2} = \frac{51,5^\circ C + 51^\circ C}{2} = 51,25^\circ C$$

$$50^\circ C \quad = \quad 988 \text{ kg/m}^3$$

$$51,25^\circ C \quad = \quad x$$

$$55^\circ C \quad = \quad 986 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{5}{3,75} = \frac{-2}{986 - x}$$

$$X = \rho = 987,5 \text{ kg/m}^3$$

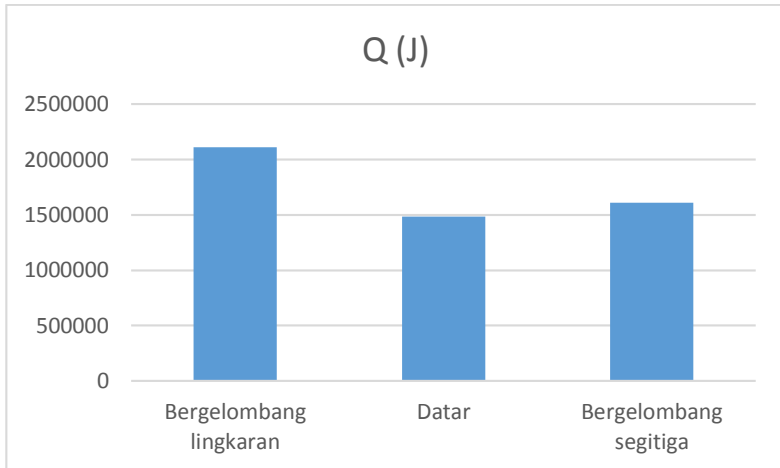
$$c) \quad m = \rho V$$

$$m = 987,5 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,06m^3 = 59,25 \text{ kg}$$

$$d) \quad Q = mc\Delta t$$

$$Q = 59,25 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{J}{kg^\circ C} \cdot 6,5^\circ C$$

$$Q = 1609822,5 \text{ J}$$



Gambar 4.2 Grafik *heat loss* – jenis plat

Dari grafik bisa disimpulkan bahwa nilai *heat loss* yang tinggi pada jenis plat bergelombang lingkaran disebabkan karena belum ditambahkannya *glasswool* (insulator) pada penelitian sebelumnya, sehingga panas dari wadah penampung air yang hilang ke lingkungan lebih besar. Sedangkan untuk jenis plat datar dan bergelombang segitiga, pada wadah penampung airnya telah dilapisi dengan insulator tambahan yaitu *glasswool*. Disini terlihat pengaruh dari insulator sangatlah besar terhadap *heat loss* yang terjadi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Ada perbedaan nilai heat gain secara teoritis dan secara eksperimen. Perbedaan nilai yang didapat secara teoritis dan aktual disebabkan karena adanya heat loss di beberapa bagian instalasi yaitu pada bagian pipa yang tidak terisolasi dan celah pada pipa masuk maupun keluar yang menyebabkan panas di dalam kaca keluar.
2. Pada penggunaan jenis plat datar didapat nilai heat gain sebesar 33646.513 J/s, jenis plat bergelombang setengah lingkaran sebesar 29315.803 J/s, dan jenis plat bergelombang segitiga sebesar 44781.594 J/s. Nilai heat gain tertinggi didapatkan dari penggunaan jenis plat bergelombang segitiga. Ini disebabkan karena adanya **faktor bentuk** yang berpengaruh terhadap pantulan radiasi yang diterima. Pada profil permukaan plat bergelombang segitiga, radiasi yang dipantulkan bisa terjadi berulang-ulang diakibatkan bentuk profilnya yang bersudut. Sedangkan untuk plat yang datar, radiasi pantulan hanya bisa terjadi sekali. Dan untuk jenis plat bergelombang setengah lingkaran, terjadi pantulan tetapi kecil dikarenakan bentuk profilnya yang menghamburkan hasil pantulan radiasi.
3. Besar heat loss pada penggunaan jenis plat bergelombang lingkaran yang telah dilakukan pada pengujian terdahulu sebesar 2109842.46 J. sedangkan untuk pengujian yang dilakukan untuk jenis plat datar dan jenis plat bergelombang segitiga masing-masing sebesar 1484334.72 J dan 1609822.5 J. Insulator yang dilapiskan di wadah penampung air berpengaruh terhadap *heat loss* yang terjadi di sana. Hal ini bisa dibuktikan dari hasil percobaan yang telah dilakukan pada percobaan menggunakan plat bergelombang setengah lingkaran, insulator pada wadah penampung air hanya menggunakan karung goni. Sedangkan pada pengujian

dengan menggunakan jenis plat datar dan plat bergelombang segitiga, wadah penampung air diberi tambahan lapisan *glasswool* sebagai insulator.

5.2 Saran

1. Dapat meningkatkan nilai temperatur dengan cara memperluas permukaan pipa.
2. Pipa discharge dari pompa pada bak seharusnya ditanamkan dalam air sehingga dapat mengurangi terjadinya nilai *heat loss*.
3. Menutup bagian yang dapat menyebabkan *heat loss* pada saluran pipa.
4. Pada saat melakukan pengukuran temperatur pada permukaan plat dan permukaan luar pipa, gunakan termokopel sebagai alat ukur sehingga tidak perlu membuka kaca penutup yang akan menyebabkan panas/radiasi pantulan yang terserap hilang ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Andreassa Harianja, 2016, *Pembuatan Dan Pengujian Suplai Panas Hibrid Menggunakan Kolektor Surya Dan Radiator Pada Alat Pengering Ikan Teri*. Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

Ikki Adji Dharma, 2016, *Analisis Performa Pemanas Air Dengan Sumber Energi Matahari*, TA 1010 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS

Incropera, Frank P, dkk. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Edition. 2007, John Willey and Sons, Inc.

J.Pritchard, Philip. 2011, *Fox and McDonald's Introduction To Fluid Mechanics*, Manhattan College, John Willey and Sons, Inc.

Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T. *Perpindahan Panas*, Diktat D3 Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Luqman Buchori, ST, MT. *Perpindahan panas (Heat Exchanger)*. Diktat Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP Semarang.

Renaldo Maxilion. 2016, *Rancang Bangun Alat Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana*. TA 1023 Surabaya : Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS

ret03_2solar_equation.pdf

<https://brainly.co.id>

https://id.wikipedia.org/wiki/Perpindahan_panas

<http://my-dock.blogspot.com/2013/03/sudut-deklinasi-dan-lingkaran-deklinasi.html>

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 19 Mei 1993, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang pernah penulis tempuh adalah, SDN Perak Barat IV Surabaya, SMPN 02 Surabaya, dan SMAN 09 Surabaya. Pada tahun 2013 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2113030065. Penulis mengambil konsentrasi dalam bidang

ilmu Konversi Energi.

Selama berada di bangku kuliah, penulis aktif mengikuti banyak pelatihan, organisasi, serta kepanitian yang diadakan di tingkat jurusan maupun tingkat institut. Pelatihan yang telah penulis ikuti antara lain adalah, PADI pada tahun 2013, LKMM Pra-TD pada tahun 2013, Pelatihan Motor Bakar pada tahun 2013, LKMM TD pada tahun 2014, PKTI pada tahun 2014, PJ TD pada tahun 2014, dan Pelatihan Kepemimpinan pada tahun 2015. Penulis pernah magang sebagai staf pada tahun 2013 di Departemen Kewirausahaan HMDM, menjabat sebagai staf pada tahun 2014 di BSO Kewirausahaan HMDM, dan mngemban jabatan sebagai Kepala Divisi Jual Beli di BSO Kewirausahaan HMDM pada tahun 2015. Penulis juga menjabat sebagai ketua komunitas pecinta alam D3 Teknik Mesin (D3MOUNT) pada tahun 2014, dan pada tahun yang sama penulis berhasil memasukan Komunitas Mahasiswa Pecinta Alam D3 Teknik Mesin (D3MOUNT) dalam keanggotaan Bolo Eco Campus. Untuk kepanitian di tingkat jurusan, penulis pernah menjadi Koor. OC di acara kaderisasi tahun 2014, penanggung jawab di acara “Pendakian Bersama D3MOUNT di Semeru” pada tahun 2015 dan Koor. IC di acara kaderisasi 2015.

Penulis aktif menulis tulisan di blog yang penulis miliki, sebagai sarana pengembangan *softskill* dari teknik penulisan yang pernah penulis dapatkan. Penulis juga aktif mengasah skill di bidang musik, berfokus pada permainan gitar, yang penulis geluti sejak berada di bangku SD. Motto hidup penulis adalah jujur, berani dan bertanggung jawab. Dan akhir kata, penulis berharap buku ini bisa menjadi referensi untuk adik-adik di D3 Teknik Mesin ITS yang akan meneruskan penelitian tentang pemanas air energi matahari. Sehingga kedepannya, penelitian ini benar-benar mampu diterapkan di masyarakat secara luas.

LAMPIRAN

Tabel Untuk Mencari *Density*

Table A.8

Properties of Water (SI Units)

Temperature, $T(^{\circ}\text{C})$	Density, $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Dynamic Viscosity, $\mu \text{ (N} \cdot \text{s/m}^2\text{)}$	Kinematic Viscosity, $\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$	Surface Tension, $\sigma \text{ (N/m)}$	Vapor Pressure, $p_v \text{ (kPa)}$	Bulk Modulus, $E_v \text{ (GPa)}$
0	1000	1.76E-03	1.76E-06	0.0757	0.661	2.01
5	1000	1.51E-03	1.51E-06	0.0749	0.872	
10	1000	1.30E-03	1.30E-06	0.0742	1.23	
15	999	1.14E-03	1.14E-06	0.0735	1.71	
20	998	1.01E-03	1.01E-06	0.0727	2.34	2.21
25	997	8.93E-04	8.96E-07	0.0720	3.17	
30	996	8.00E-04	8.03E-07	0.0712	4.25	
35	994	7.21E-04	7.25E-07	0.0704	5.63	
40	992	6.53E-04	6.59E-07	0.0696	7.38	2.29
45	990	5.95E-04	6.02E-07	0.0688	9.59	
50	988	5.46E-04	5.52E-07	0.0679	12.4	
55	986	5.02E-04	5.09E-07	0.0671	15.8	
60	983	4.64E-04	4.72E-07	0.0662	19.9	2.12
65	980	4.31E-04	4.40E-07	0.0654	25.0	
70	978	4.01E-04	4.10E-07	0.0645	31.2	
75	975	3.75E-04	3.85E-07	0.0636	38.6	
80	972	3.52E-04	3.62E-07	0.0627	47.4	
85	969	3.31E-04	3.41E-07	0.0618	57.8	
90	965	3.12E-04	3.23E-07	0.0608	70.1	
95	962	2.95E-04	3.06E-07	0.0599	84.6	
100	958	2.79E-04	2.92E-07	0.0589	101	

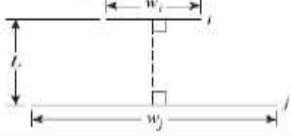
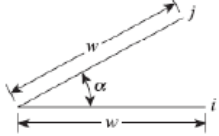
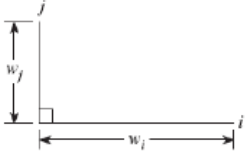
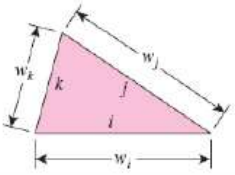
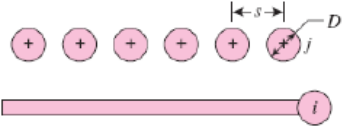
Tabel Untuk Mencari nilai *Emissivity*

TABLE A.11 *Continued*

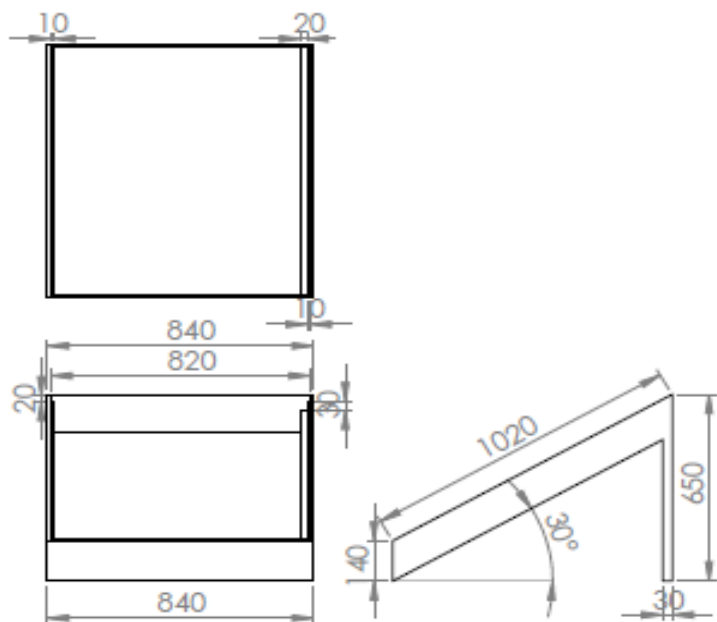
Nonmetallic Substances^b

Description/Composition		Temperature (K)	Emissivity ϵ
Aluminum oxide	(n)	600	0.69
		1000	0.55
		1500	0.41
Asphalt pavement	(h)	300	0.85–0.93
Building materials			
Asbestos sheet	(h)	300	0.93–0.96
Brick, red	(h)	300	0.93–0.96
Gypsum or plaster board	(h)	300	0.90–0.92
Wood	(h)	300	0.82–0.92
Cloth	(h)	300	0.75–0.90
Concrete	(h)	300	0.88–0.93
Glass, window	(h)	300	0.90–0.95
Ice	(h)	273	0.95–0.98
Paints			
Black (Parsons)	(h)	300	0.98
White, acrylic	(h)	300	0.90
White, zinc oxide	(h)	300	0.92
Paper, white	(h)	300	0.92–0.97
Pyrex	(n)	300	0.82
		600	0.80
		1000	0.71
		1200	0.62
Pyroceram	(n)	300	0.85
		600	0.78
		1000	0.69
		1500	0.57
Refractories (furnace liners)			
Alumina brick	(n)	800	0.40
		1000	0.33
		1400	0.28
		1600	0.33
Magnesia brick	(n)	800	0.45
		1000	0.36
		1400	0.31
		1600	0.40
Kaolin insulating brick	(n)	800	0.70
		1200	0.57
		1400	0.47
		1600	0.53
Sand	(h)	300	0.90
Silicon carbide	(n)	600	0.87
		1000	0.87
		1500	0.85

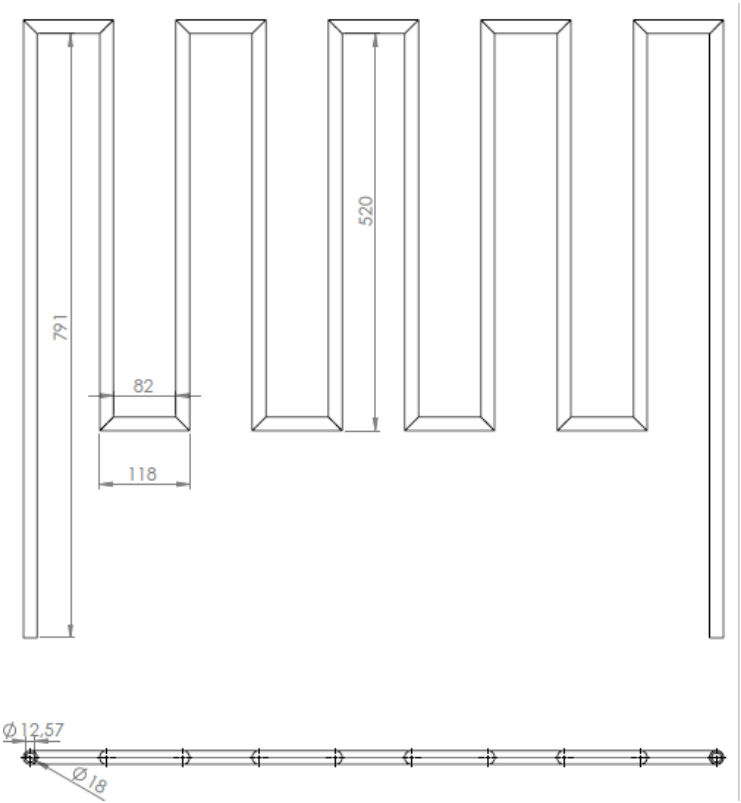
Faktor Bentuk Pada Radiasi Pantulan

GEOMETRY (2D)	RELATION
<p>Parallel plates with midlines connected by perpendicular line</p> 	$ W_i = w_i/L \text{ and } W_j = w_j/L$ $F_{i \rightarrow j} = \frac{[(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - (W_i - W_j)^2 + 4)^{1/2}}{2W_i}$
<p>Inclined plates of equal width and with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \sin \frac{1}{2} \alpha$
<p>Perpendicular plates with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{w_j}{w_i} - \left[1 + \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$
<p>Three-sided enclosure</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{w_i + w_j - w_k}{2w_j}$
<p>Infinite plane and row of cylinders</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \left[1 - \left(\frac{D}{s} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{D}{s} \tan^{-1} \left(\frac{s^2 - D^2}{D^2} \right)^{1/2}$

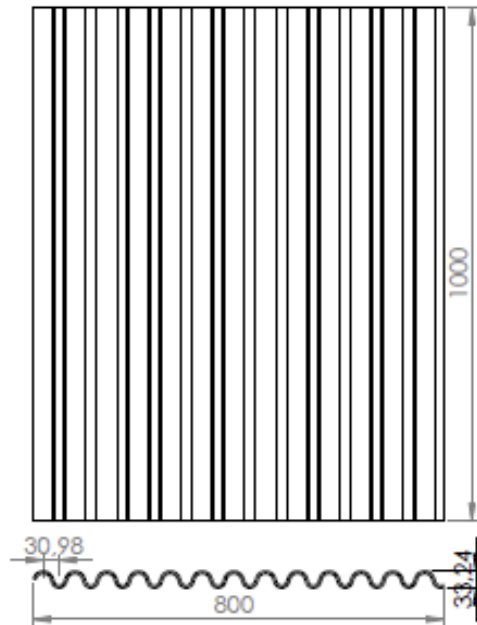
Dimensi Dari Instalasi Pemanas Air Tenaga Surya



Dimensi Dari Pipa Laluan di Instalasi Pemanas Air Tenaga Surya



**Dimensi Dari jenis Plat Bergelombang Lingkaran yang
Sebelumnya Digunakan**



DATA HASIL PERCOBAAN TANGGAL 18 DESEMBER 2016 PADA PLAT DATAR

jam	temperature pipa (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	32.5	33.3	33.2	33.2	33.6	33.16
9	35	35.1	34.8	34.9	34.8	34.92
10	40.8	40.7	40.4	40.9	40.9	40.74
11	42.4	42.3	42.3	42.3	42.1	42.28
12	45.4	45.7	45.6	45.7	45.6	45.6
13	48.2	48.4	48.2	48.3	48.6	48.34
14	51.1	51.5	51.3	51.1	51.1	51.22
15	46.2	46.3	46.2	46.2	46.2	46.22
16	40.1	40.4	40.1	40.2	40.2	40.2
T _{pipa rata - rata}						43

Jam	temperatur air °C					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	28	28	28	28	28	28
9	31	31	31	31	31	31
10	36	36	36	36	36	36
11	39	39	39	39	39	39
12	44	44	44	44	44	44
13	47	47	47	47	47	47
14	49	49	49	49	49	49
15	48	48	48	48	48	48
16	47	47	48	47	47	47.2

jam	temperature plat (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	77.2	77.8	77.8	77.9	78.1	77.76
9	83.1	82.4	78.4	75.7	74.6	78.84
10	94.2	89.6	86.9	84.3	79.8	86.96
11	96.2	93.5	89.9	85.4	79.6	88.92
12	92.5	89.8	86.6	83.8	80.1	86.56
13	89.6	86.6	84.2	81.3	78.1	83.96
14	83.4	79.2	76.4	73.2	69.9	76.42
15	77.1	76.3	74.6	72.1	72.1	74.44
16	62.1	58.3	54.1	51.7	47.4	54.72
T _{plat rata - rata}						79

DATA HASIL PERCOBAAN TANGGAL 25 DESEMBER 2016 PADA PLAT DATAR

jam	temperature pipa (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	33	34.2	32	32.9	33.6	33.14
9	35.9	36.1	35.7	34.8	34.7	35.44
10	41.3	41.7	41.4	41.9	42.3	41.72
11	44.8	45.1	45.3	45.6	45.8	45.32
12	48.9	48.5	48.3	48.1	48.3	48.42
13	51.8	51.5	51.6	51.4	51.4	51.54
14	53.5	52.8	52.7	52.9	52.1	52.8
15	45.2	45.6	45.6	45.5	45.6	45.5
16	40.2	40.2	40.1	40.1	40.1	40.14
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						44

Jam	temperatur air °C					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	28	28	28	28	28	31
9	33	33	33	33	33	33
10	36	36	36	36	36	36
11	40	40	40	40	40	40
12	44	44	44	44	44	44
13	46	46	46	46	46	46
14	49	49	49	49	49	49
15	49	49	49	49	49	49
16	48	48	48	48	48	48

jam	temperature plat (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	77.5	78.3	78.3	77.4	77.9	77.88
9	83.9	83	77.5	72.8	71.1	77.66
10	95.1	89.8	88.1	83.7	80.3	87.4
11	95.4	87.7	83.5	76.2	68	82.16
12	91.1	89.5	88.8	86.5	83.1	87.8
13	89.2	88.6	85.4	81.6	78.7	84.7
14	81.9	77.7	72.1	67.8	65.7	73.04
15	75.2	72.1	69.4	64.2	61.9	68.56
16	61.8	57.4	53.1	49.6	45.2	53.42
$T_{\text{plat rata-rata}}$						77

DATA HASIL PERCOBAAN TANGGAL 25 NOVEMBER 2016
PADA PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA

jam	temperature pipa (°C)				
	1	2	3	4	5
8	34	33.5	33.2	34	33.6
9	36.7	36.3	35.9	35.7	36.06
10	40.1	39.9	39.9	39.8	39.9
11	46.3	46.5	46	45.8	46.1
12	49.8	50.3	50.6	50.5	50.14
13	54.4	54.3	54.4	53.5	53.94
14	58.6	58.1	58.3	58.6	58.1
15	51.2	51.3	51.3	51.1	51.1
16	46.1	46.1	46.2	46.1	45.9
<i>T_{pipa} rata – rata</i>					46

Jam	temperatur air °C				
	1	2	3	4	5
8	28	28	28	28	28
9	36	36	36	36	36
39	39	39	39	39	39
11	46	46	46	46	46
12	50	50	50	50	50
13	52	52	52	52	52
14	55	55	55	55	55
15	53	53	53	53	53
16	51	51	51	51	51

jam	temperature plat (°C)				
	1	2	3	4	5
8	77	75	72.4	71.6	73.22
9	84.2	84.3	81.6	80.1	81.98
10	96.4	92.1	87.5	83.4	87.92
11	95.6	94.7	90.1	85.5	89.24
12	92.5	91.1	90.3	87.4	88.98
13	89.5	88.7	85.1	82	84.92
14	80.2	77.5	70.3	67.4	72.1
15	76.3	73.2	68.3	63.8	68.5
16	63.4	58.9	54.3	48.2	53.78
<i>T_{plat} rata – rata</i>					78

DATA HASIL PERCOBAAN TANGGAL 01 DESEMBER 2016
PADA PLAT BERGELOMBANG SEGITIGA

jam	temperature pipa (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	32.5	33	33	33.1	32.2	32.76
9	35.41	35.2	35.7	35.3	35.2	35.362
10	39.9	39.7	39.9	39.8	39.8	39.82
11	45	45	44.9	45	44.9	44.96
12	49.1	50.2	49.3	49.4	49.5	49.5
13	54.3	55.4	53	52.9	53.1	53.74
14	58.9	58	58.3	58.7	58	58.38
15	50.1	50.4	50.4	50.4	50.4	50.34
16	43.9	44	44	44.2	44.1	44.04
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						45

Jam	temperatur air °C					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	29	29	29	29	29	29
9	35	35	35	35	35	35
10	40	40	40	40	40	40
11	46	46	46	46	46	46
12	50	50	50	50	50	50
13	52	52	52	52	52	52
14	54	54	54	54	54	54
15	52	52	52	53	52	52.7
16	51	51	51	51	51	51

jam	temperature plat (°C)					rata-rata
	1	2	3	4	5	
8	77.9	78.1	78.3	77.8	78.1	78.04
9	84.3	82.2	77	73.7	70.6	77.56
10	95.2	90.4	88.5	84.3	79.7	87.62
11	95.6	94.8	88.4	83.2	76.3	87.66
12	93.6	92.8	90.3	86.7	80.1	88.7
13	89.3	88	84.2	82.2	80.1	84.76
14	76	64.2	58.8	54	50.5	60.7
15	73.4	71.9	65.4	61.9	55.2	65.56
16	63.4	57.3	52.1	48.7	43.6	53.02
$T_{\text{plat rata-rata}}$						76